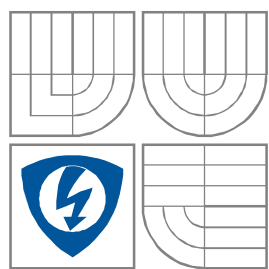


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

KONTROLA PRŮMYSLOVÉ MONTÁŽE POMOCÍ KAMERY

AUTOMATED CAMERA MEASUREMENT IN THE INDUSTRIAL PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN SEDLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR PETYOVSKÝ

BRNO 2012

ZDE VLOŽIT ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

1 ks práce s originální zadáním

1 ks práce s kopií zadání

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou bezkontaktní kamerové detekce přítomnosti a správnosti založení zvolených součástí při průmyslové montáži. Hlavním cílem této práce je navrhnout a realizovat uživatelské rozhraní a algoritmy systému pro kontrolu průmyslové montáže pomocí kamery.

Klíčová slova

Průmyslové snímání pomocí kamery, bezkontaktní měření, kamerový senzor, kontrola průmyslové montáže, detekce přítomnosti a správnosti založení, knihovna QT, knihovna OpenCV.

Abstract

This master's thesis deals with questions about contactless camera detection of presence and right direction of assembled parts in the industry process. The main aim of this work is design and realization of graphical user interface and algorithm for automated camera measurement system in the industrial process.

Keywords

Automated camera measurement in the industrial process, contactless measurement, camera sensor, camera check of industrial assembly, presence and right direction test, Qt library, OpenCV library.

Bibliografická citace:

SEDLÁŘ, M. *Kontrola průmyslové montáže pomocí kamery*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 59 s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Petr Petyovský.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Kontrola průmyslové montáže pomocí kamery jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **21. května 2012**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Petyovskému za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **21. května 2012**

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod	11
2	Teoretický úvod	12
2.1	Proč používat kamery při snímání v průmyslu	12
2.1.1	Typické aplikace kamer při průmyslové montáži	13
2.2	Prostředky pro kontrolu průmyslové montáže	13
2.2.1	SICK Inspector	14
2.2.2	Balluff Vision Sensor BVS	15
2.2.3	Baumer VeriSens	16
2.2.4	OMRON FQ	16
2.2.5	Turck iVu series	17
3	Reálná úloha pro demonstraci funkcí nového detekčního systému	17
3.1	Vhodné uspořádání scény a problémy při snímání v průmyslu	18
3.1.1	Osvětlení scény	19
3.2	Definice kontrolovaných parametrů	20
3.3	Pořízené testovací snímky	22
4	Realizované řešení	24
4.1	Knihovna OpenCV	24
4.1.1	Pět hlavních částí knihovny	24
4.1.2	Instalace a nastavení OpenCV ve Visual Studiu	24
4.2	Realizace algoritmů pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů	27
4.2.1	Počet pixelů o určitém jasu v oblasti zájmu	27
4.2.2	Počet hran v oblasti zájmu	29
4.3	Návrh uživatelského rozhraní	31
4.4	Realizace uživatelského rozhraní	33
4.4.1	Knihovna Qt	33
4.4.1.1	Qt - instalace knihovny a tvorba nového projektu	33
4.4.1.2	Qt - Signály a sloty	35
4.4.2	Realizace grafického rozhraní	35
4.4.2.1	Správa oblastí zájmu	36
4.4.2.2	Nastavení funkcí pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů	37
4.4.2.3	Ovládání testu a nastavení logické rovnice	42
4.4.3	Struktura matic pro uložení zadaných parametrů	44
4.4.4	Export/Import konfigurace do XML	46

4.5	Testování systému na reálné úloze	48
5	Zhodnocení výsledků	54
6	Závěr.....	55
7	Literatura	57
8	Seznam použitých zkratk a symbolů	58
9	Seznam příloh.....	59

Seznam obrázků

Obr. 1 - Náhrada několika různých snímačů jednou kamerou [6]	12
Obr. 2 – Náhrada více stejných snímačů jednou kamerou [6]	13
Obr. 3 – Kamerový senzor SICK Inspektor [7]	14
Obr. 4 – Uživatelské rozhraní pro konfiguraci SICK Inspector.....	15
Obr. 5 – Kamerový Senzor Balluff Vision Sensor BVS [6]	15
Obr. 6 – Kamerový Senzor Baumer VeriSens [9].....	16
Obr. 7 – Kamerový Senzor OMRON FQ [11].....	16
Obr. 8 – Kamerový Senzor Turck iVu [10]	17
Obr. 9 – Pokovený rámeček s kontrolovaným nápisem.....	18
Obr. 10 – Doporučované umístění kamery nad scénou [6].....	19
Obr. 11 – Obvyklé způsoby osvětlení scény v průmyslu [6]	19
Obr. 12 – Příklady svítidel používaných v průmyslu [6]	20
Obr. 13 – Vyhodnocení dle počtu pixelů určitého jasu v oblasti zájmu [7].....	20
Obr. 14 – Vyhodnocení dle počtu hran v oblasti zájmu [7]	21
Obr. 15 – Vyhodnocení dle shody obrysu [7]	21
Obr. 16 – Vyhodnocení dle shody vzoru [7].....	21
Obr. 17 – Umístění oblasti zájmu do tří různých snímků bez použití automatické lokace [6] ...	22
Obr. 18 – Umístění oblasti zájmu do tří různých snímků s použitím automatické lokace [6]	22
Obr. 19 – LWR s konektorem	22
Obr. 20 – Pokovený rámeček s nápisem Bi-Xenon	23
Obr. 21 – Pokovený rámeček s nápisem Intelligent light system.....	23
Obr. 22 - Nastavení knihovny OpenCV - Nastavení proměnných v systému Windows	25
Obr. 23 - Nastavení knihovny OpenCV - VC++ Directories.....	26
Obr. 24 - Nastavení knihovny OpenCV - Nastavení projektu	26
Obr. 25 – Použití algoritmu – 84% pixelů v ROI v mezích jasu.....	28
Obr. 26 – Použití algoritmu – 42% pixelů v ROI v mezích jasu.....	28
Obr. 27 - Použití algoritmu – 0% pixelů v ROI v mezích jasu	29
Obr. 28 – Snímek rámečku světlometu po aplikaci hranového detektoru.....	30
Obr. 29 – Návrh uživatelského rozhraní	31
Obr. 30 – Uživatelské rozhraní – Nastavení parametrů	32
Obr. 31 - Nastavení knihovny Qt - Nastavení proměnných v systému Windows.....	34
Obr. 32 - Hlavní okno pro nastavení systému pro kontrolu průmyslové montáže.....	36
Obr. 33 - Hlavní okno - Správa ROI.....	36

Obr. 34 - Hlavní okno - Sekce pro nastavení funkce PixSum.....	37
Obr. 35 - Typy prahovacích funkcí [4]	38
Obr. 36 - Tvorba prahování se dvěma prahy.....	39
Obr. 37 - Použití náhledu u funkce PixSum.....	39
Obr. 38 - Hlavní okno - Sekce pro nastavení funkce EdgeSum.....	40
Obr. 39 - Hlavní okno - Sekce pro spuštění a nastavení testu.....	42
Obr. 40 - Dialogové okno pro nastavení logické funkce.....	43
Obr. 41 - Hlavní okno - Nabídka parametry nastavení	46
Obr. 42 - Hlavní okno systému SOPAS Engineering Tool od fy SICK	48
Obr. 43 - Vyhodnocené snímky systémem SOPAS Engineering Tool od fy SICK	49
Obr. 44 - Vyhodnocené snímky systémem SOPAS Engineering Tool od fy SICK	50
Obr. 45 - Hlavní okno vlastního systému realizovaného v této práci	51
Obr. 46 - Vyhodnocené snímky vlastním systémem realizovaným v této práci	52
Obr. 47 - Vyhodnocené snímky vlastním systémem realizovaným v této práci	53

Seznam tabulek

Tab. 1 - Matice pro správu ROI - řádek 0	44
Tab. 2 - Matice pro správu ROI - řádek 1 až 10.....	45
Tab. 3 - Matice pro správu logických rovnic - řádek 0	45
Tab. 4 - Matice pro správu logických rovnic - řádek 1 až 10.....	46
Tab. 5 - Srovnání vlastního a komerčního systému pro kontrolu průmyslové montáže	54

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou bezkontaktní kamerové detekce přítomnosti a správnosti založení zvolených součástí při průmyslové montáži. Hlavním cílem této práce je navrhnout a realizovat uživatelské rozhraní a algoritmy systému pro kontrolu průmyslové montáže pomocí kamery.

Práce začíná teoretickým úvodem, ve kterém budou uvedeny výhody použití kamer v průmyslu a jejich stručný přehled. Dále budou popsány vybrané reálné úlohy pro demonstraci nového detekčního systému, problémy při snímání v praxi, definice základních kontrolovaných parametrů a vytvoření dostatečně rozsáhlé množiny testovacích snímků.

Jedním z hlavních cílů práce bude návrh, realizace a popis zvolených algoritmů pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů. K realizaci těchto algoritmů bude zapotřebí využít knihovnu pro zpracování obrazu OpenCV, a proto zde bude uveden také popis knihovny, její instalace a další nastavení v programu Microsoft Visual Studio.

Dalším hlavním cílem bude návrh a následná realizace algoritmů uživatelského rozhraní pro nastavení a obsluhu systému pro kontrolu průmyslové montáže. K tvorbě jeho grafické části bude použita knihovna Qt, jejíž instalace a nastavení budou v práci popsány také. Kompletní systém bude zkoušen na reálných úlohách a následně porovnán s některými funkcemi kamerového senzoru od firmy SICK. V závěru práce budou zhodnoceny dosažené výsledky a navrženy další metody k vyhodnocení kontrolovaných parametrů a vylepšení uživatelského rozhraní.

2 TEORETICKÝ ÚVOD

Úvod této kapitoly se zabývá otázkou, proč je výhodné používat kamery při snímání v průmyslu a k jakým aplikacím se hodí více než obyčejné snímače neobsahující kameru (dále v tomto textu nazývány jednoduché snímače). Dále jsou uvedeny některé prostředky, které se v průmyslu pro detekci používají, a jejich parametry.

2.1 Proč používat kamery při snímání v průmyslu

Výhodou použití kamer pro kontrolu přítomnosti a správnosti založení je bezkontaktní, nedestruktivní přístup k měřené veličině. Další výhodou je kompaktnost použití. Kamerou lze totiž nahradit několik jednoduchých bezkamerových snímačů, které mohou detekovat přítomnost většinou jen jedné určité mechanické součástky a zároveň je někdy zapotřebí ke kontrole založení jedné součástky několika jednoduchých snímačů (jak popisuje Obr. 1 a Obr. 2). Další předností kamer je snímání z větší vzdálenosti a tak nemusí být kamera vždy bezprostřední součástí přípravku, do kterého je například založen kontrolovaný výrobek. Při výměně přípravku za jiný, který ponese jiný výrobek (univerzální linka pro více výrobků), může zůstat stávající hardware obsahující kameru nezměněn a změní se jen parametry softwaru, který provádí požadované kontroly při montáži.



Obr. 1 - Náhrada několika různých snímačů jednou kamerou [6]

Jednoduché bezkamerové snímače obvykle zpracovávají jen jednorozměrný signál, obsahují tak jednodušší řídicí elektroniku, a tak mohou být menších rozměrů a cenově dostupnější. Kamera často zpracovává signál dvourozměrný (pokud nemá řádkový senzor – zde však u nepohyblivých scén ztrácíme velké množství informací), a proto roste výpočetní náročnost, doba zpracování získaného snímku a také cena pořízení kamery. Pro využití v praxi je však zapotřebí volit kompromis, jestli použít více jednoduchých snímačů neobsahujících kameru nebo jeden, či více, snímačů s kamerou. Cena senzoru, který obsahuje kameru je nejméně o jeden řád vyšší, avšak může být pro aplikaci mnohem výhodnější nahrazením více jednodušších bezkamerových snímačů a také v pořizování kvalitnějších výsledků.



Obr. 2 – Náhrada více stejných snímačů jednou kamerou [6]

2.1.1 Typické aplikace kamer při průmyslové montáži

Mezi typické aplikace patří především případy, kdy je zapotřebí bezkontaktně detekovat určité vzory nebo potisky na kompletovaných součástkách. Kamerou je také mnohem jednodušší zjistit orientaci objektů nebo změřit rozměry členitých součástí. Například při montáži automobilových světlometů je vhodné kamer využít k nastavení výšky svícení světlometu, kontrolu homogenity svícení denních světel ve tvaru svítících kruhů nebo kontrole, zda svítí všechny LED denního svícení.

Další výhodou použití kamer je schopnost ve většině konfigurací detekovat i čárové a maticové kódy, a tak lze stejným snímačem zároveň získat i tato potřebná data pro kontrolu průmyslové montáže. Všechny tyto aplikace by byly s použitím jednoduchých bezkamerových snímačů výrazně složitější, dražší a někdy i nerealizovatelné.

2.2 Prostředky pro kontrolu průmyslové montáže

Prostředky pro kontrolu průmyslové montáže bývají v praxi často nazývány kamerové senzory nebo kamerové snímače. Jedná se především o typy, které jsou doplněny jednoduchým uživatelským rozhraním, které dovoluje programátorovi se základními znalostmi počítačového zpracování obrazu nakonfigurovat systém tak, aby kontroloval požadované prvky při montáži. Těmito typy průmyslových snímačů s využitím kamery se bude tato práce dále zabývat, proto označení kamerový snímač (kamerový senzor) bude popisovat tyto přístroje.

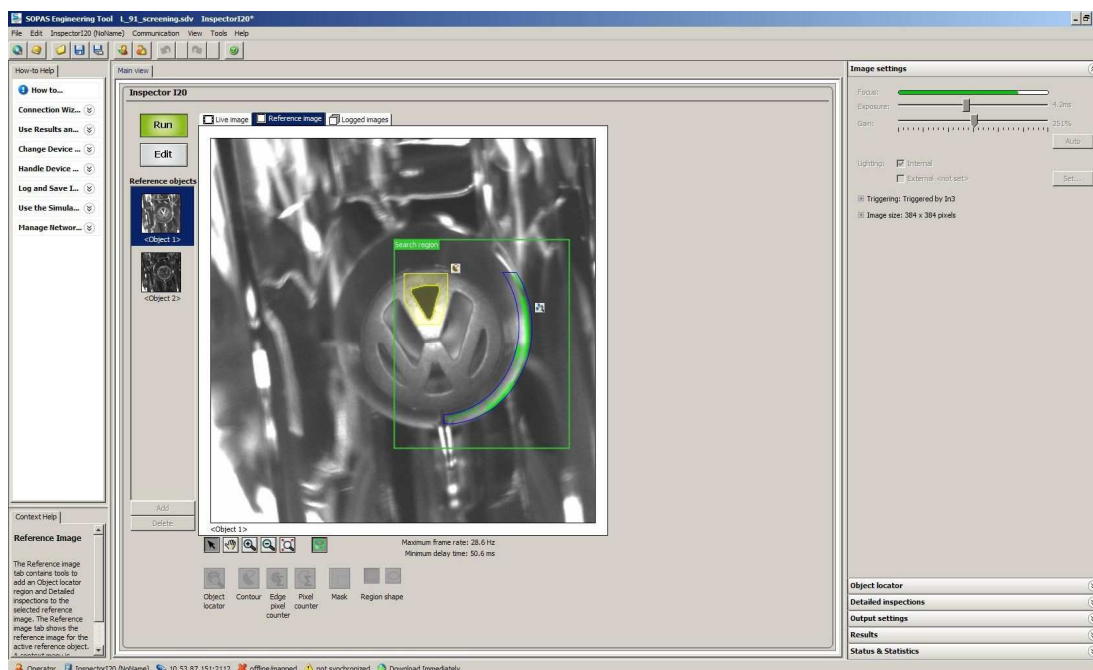
Dalším odvětvím průmyslových kamer jsou výkonnější kamery, které se však většinou programují s pomocí vývojových nástrojů jako například Halcon, LabView, Matlab, Scorpion, Montivision, atd. Zde je však zapotřebí vyšších znalostí v oboru počítačového vidění a programování, protože neprobíhá pouhým výběrem a skládáním funkcí, které si uživatel „nakliká“ z nabídky, ale psaním zdrojových kódů v jazyce, který daný vývojový nástroj podporuje. V dalších podkapitolách jsou tedy stručně popsáni zástupci některých kamerových snímačů, které se v praxi používají.

2.2.1 SICK Inspector

Tento nejznámější zástupce kamerových snímačů od firmy SICK se dělí na typy I10, I20, I40 a P30. Kdy typ I10 je nejméně vybavený a P30 je nejvíce vybavený senzor. Rozlišení je v provedení 384x384 pixelů nebo 640x480 pixelů. Pracovní rozsah 50-200 mm. Informace o výsledku inspekce je buď zakódována na 3 binárních výstupech nebo u některých typů ji lze zaslat pomocí ethernetu, popřípadě je možné připojit rozšiřující jednotku vstupů a výstupů, a tak přímo řídit kontrolovaný systém. Externí spouštění a další konfigurovatelné ovládání je možné pomocí 3 binárních vstupů. Mezi inspekční metody patří počet pixelů v ROI (= Region Of Interest - oblast zájmu – definovaná oblast, která obsahuje směrodatné informace), počet hran v ROI, shoda obrysu a shoda vzoru. Snímač je možné použít ke čtení čárových kódů a maticových kódů. [8]



Obr. 3 – Kamerový senzor SICK Inspektor [7]



Obr. 4 – Uživatelské rozhraní pro konfiguraci SICK Inspector

2.2.2 Balluff Vision Sensor BVS

Kamerový snímač od firmy Balluff má označení Vision Sensor BVS. Lze jej zakoupit ve dvou konfiguracích, buď s konfigurátorem (obsahuje externí displej a software) nebo bez něj. Rozlišení CMOS čipu je 640x480 pixelů. Pracovní rozsah 50-1000 mm. Informace o výsledku inspekce je zakódována na 3 binárních výstupech, ovládání pomocí 1 binárního vstupu. Mezi inspekční metody patří kontrola jasu, srovnání kontrastu, počet hran v ROI, porovnání velikosti, detekce vzoru, kontrola obrysu, porovnání pozice a porovnání znaků. Snímač je možné použít ke čtení čárových kódů a maticových kódů. [6]



Obr. 5 – Kamerový Senzor Balluff Vision Sensor BVS [6]

2.2.3 Baumer VeriSens

Kamerový snímač od firmy Baumer má označení VeriSens. Rozlišení čipu je 752x480 pixelů. Minimální pracovní vzdálenost je 50 mm. Informace o výsledku inspekce je zakódována na 5 binárních výstupech, ovládání je možné pomocí 5 binárních vstupů, možné je také číst pomocí ethernetu a RS485. Konfigurace probíhá pomocí ethernetu. Mezi inspekční metody patří lokalizace obrysu, porovnání jasu v ROI, počet hraničních bodů v ROI, porovnání vzdálenosti, průměru kruhu, úhlu, obrysu, počet hran v ROI, velikost objektu a počet objektů v ROI. Snímač je možné použít ke čtení čárových a maticových kódů, tištěných znaků. Je možné provádět korekce geometrického zkreslení obrazu. [9]



Obr. 6 – Kamerový Senzor Baumer VeriSens [9]

2.2.4 OMRON FQ

Kamerový snímač od firmy OMRON má označení FQ. Rozlišení CMOS čipu je 752x480 pixelů. Rozsah pracovní vzdálenosti je dle typu od 32 do 970 mm. Informace o výsledku inspekce je zakódována na 3 binárních výstupech, ovládání a výběr inspekce je možné pomocí 7 binárních vstupů. Konfigurace probíhá pomocí ethernetu. Mezi inspekční metody patří detekce defektů, pozice hrany, šířka hrany, flexibilní vyhledávání, zpracování barev obrazu, klasifikace, detekce obrysu, atd. Snímač je možné použít ke čtení čárových a maticových kódů, tištěných znaků. Lze provést korekci geometrického zkreslení obrazu i transformaci z polárních souřadnic. [11]



Obr. 7 – Kamerový Senzor OMRON FQ [11]

2.2.5 Turck iVu series

Kamerový snímač od firmy Turck má označení iVu. Rozlišení CMOS čipu je 752x480 pixelů. Snímač je možné použít ke čtení čárových a maticových kódů. Zakoupit lze kamerový snímač, který má ve své zadní části implementován displej, další možností je zakoupení externího displeje. [10]



Obr. 8 – Kamerový Senzor Turck iVu [10]

3 REÁLNÁ ÚLOHA PRO DEMONSTRACI FUNKCÍ NOVÉHO DETEKČNÍHO SYSTÉMU

Pro demonstraci nového detekčního systému bylo vybráno několik úloh. Jednou z předpokládaných aplikací by měla být kontrola správného zasunutí konektoru do LWR (z něm. Leuchtweiteregelung). LWR je malý servomotor, který se používá v předních světlometech automobilů k vertikálnímu, popřípadě i horizontálnímu natáčení reflektoru (xenonového modulu), a tedy ke směřování záře světlometu. Nedostatečné zasunutí konektoru nemusí být detekováno díky dočasnému vodivému spojení při kontrole na elektrické zkoušce a může způsobit nespolehlivý provoz či dokonce nefunkčnost až u zákazníka (Škoda, VW, atd., nebo až u vlastníka vozidla), čemuž je pro udržování a zlepšování kvality výrobku nutné předcházet.

Další reálnou úlohou je kontrola a detekce nápisu na pokoveném rámečku světlometu. Kamerou je zapotřebí rozlišovat dva různé nápisy a také detekovat přítomnost nápisu. Nápisy popisují dvě verze světlometu: Bixenon (Bi-Xe) a Intelligent Light System (ILS). Třetí verze je rámeček bez nápisu. Zde je nutné detekovat prázdnou oblast, která značí, že se jedná o světlomet vyráběný jako náhradní díl.



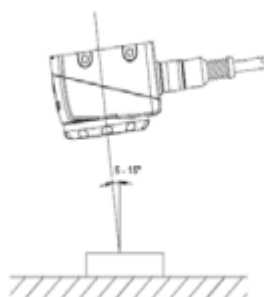
Obr. 9 – Pokovený rámeček s kontrolovaným nápisem

Dalšími předpokládanými úlohami bude kontrola správného uložení plastových dílů světlometu do sebe, kontrola homogenity svícení denního svícení světlometu, atd. Úloha pro demonstraci a testování nového detekčního systému může být mnohem více.

3.1 Vhodné uspořádání scény a problémy při snímání v průmyslu

Snímání v průmyslu ve většině případů dovoluje konstruktérovi, aby si přizpůsobil uspořádání scény dle potřeb. Narozdíl od jiných aplikací kamer lze často v průmyslu celý prostor kamery uzavřít do boxu, který nepropouští světlo zvenčí na snímanou scénu, a tak eliminovat proměnné, nepravidelné, či jinak rušivé světlo. Dále je možné umístit kameru přesně tak, jak je to nejvhodnější z hlediska odrazů světla, vzdálenosti snímaného předmětu, vhodného úhlu pohledu tak, aby byly pro kameru měřené parametry viditelné co nejlépe a vynikly jejich vlastnosti.

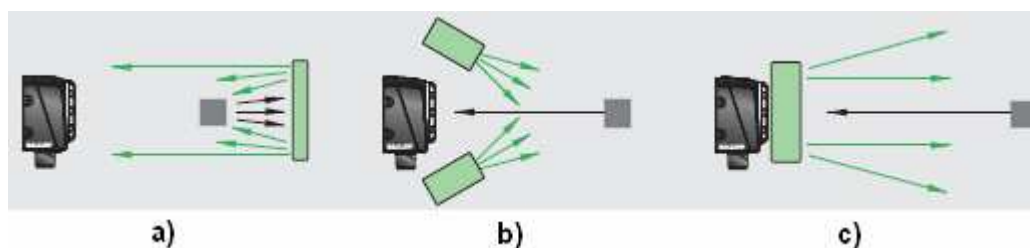
Mezi komplikace snímání v průmyslu patří mimo jiné kolísavost vnějšího osvětlení, umělé osvětlení montážních hal, změna intenzity světla při noční práci montážních linek, atd. Vhodným řešením je odstínění snímaného pracoviště od okolního světla a použití vlastního zdroje světla. Důležitá je také eliminace lesklých ploch, které způsobují nežádoucí odrazy světla a znehodnocují snímky. Dále hrozí znečištění objektivů kamer například prachem, obzvláště je-li umístěna kamera objektivem vzhůru. V těchto případech je nutné pravidelně kontrolovat a čistit objektiv kamery.



Obr. 10 – Doporučované umístění kamery nad scénou [6]

3.1.1 Osvětlení scény

Při použití externího osvětlení se nejčastěji používají tři základní uspořádání. Na Obr. 11a) je uvedeno uspořádání vhodné pro vyniknutí kontury objektu a zjednodušení segmentace objektu a pozadí. Jako svítidla lze použít bodové či plošné světlo, které je umístěno v pozadí, za objektem. Obr. 11b) popisuje osvětlení scény pomocí dvou bodových zdrojů namířených dle aktuálních potřeb. Bodové světlo je vhodné pro zvýraznění drsnosti povrchu, ale je nevhodné pro jeho silné odlesky při použití. Poslední velice často používaný způsob zobrazený na Obr. 11c) obsahuje kruhové světlo, které obklopuje objektiv kamery. Svítidlo tak tvoří s kamerou jednotný blok, není tedy zapotřebí používat složitých konstrukcí nesoucích jednotlivá svítidla. Navíc je kruhové svítidlo vhodné pro osvětlení scény bez vzniku stínů.



Obr. 11 – Obvyklé způsoby osvětlení scény v průmyslu [6]

Na Obr. 12 jsou uvedeny základní typy svítidel používaných při snímání v průmyslu. Obr. 12a) představuje plošný, Obr. 12b) bodový a Obr. 12c) prstencový (kruhový) zdroj světla. Vyobrazená svítidla vyrábí firma Balluff.

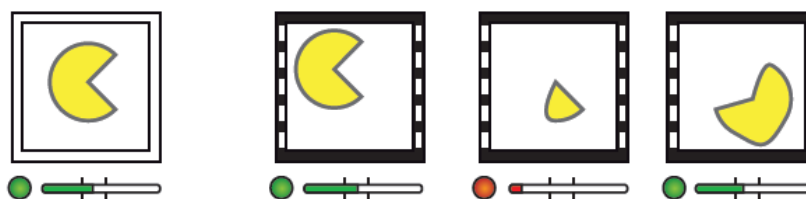


Obr. 12 – Příklady svítidel používaných v průmyslu [6]

3.2 Definice kontrolovaných parametrů

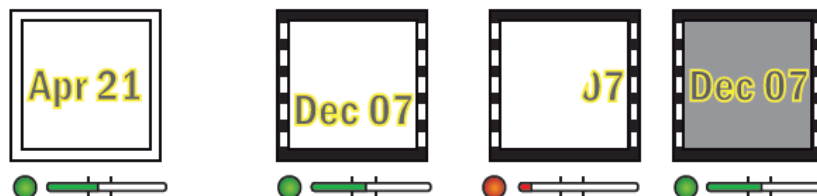
Kamerové senzory využívají mimo jiné i velmi jednoduchých principů k detekci požadovaných vlastností, jako je poměr počtu pixelů určité barvy k počtu všech pixelů v dané oblasti nebo určitá barva, přítomnost hrany, počet hran, šířka hrany či porovnání jasu v oblasti zájmu. V této oblasti se nachází směrodatné informace. Může mít různý tvar, který většinou definuje uživatel nebo je nalezena automaticky pomocí určité segmentační metody, detekce hran a jiných metod. Pro oblast zájmu se také v literatuře používá pojmu ROI (Region Of Interest).

Mezi složitější kontrolované parametry patří kontrola obrysu (kontury), hledání vzoru a kontrola polohy. Na Obr. 13 je znázorněno chování kamerového senzoru SICK Inspector při vyhodnocování dle počtu pixelů o určitém jasu v oblasti zájmu. V této funkci lze obvykle nastavit rozmezí, kdy má být hodnota součtu pixelů uznána za korektní či nikoliv. Jak je vidět na zmíněném obrázku, na tvaru detekovaného objektu nezáleží.



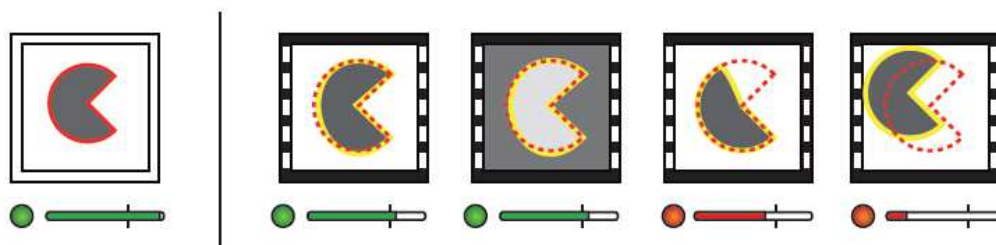
Obr. 13 – Vyhodnocení dle počtu pixelů určitého jasu v oblasti zájmu [7]

Obdobně je tomu také u metody vyhodnocení dle počtu hran v oblasti zájmu, kterou charakterizuje Obr. 14. Zde také příliš nezáleží na tvaru detekovaného objektu, ale na přítomnosti jeho hraničních bodů o určitém počtu. Je-li počet menší, lze tak vyhodnotit neúplný objekt.



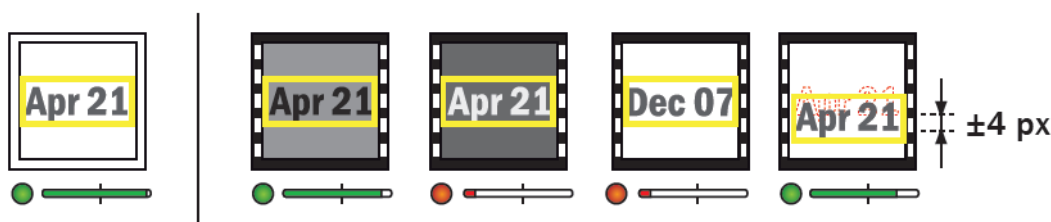
Obr. 14 – Vyhodnocení dle počtu hran v oblasti zájmu [7]

Další metodou, kde však již záleží na tvaru detekovaného objektu je vyhodnocení dle shody obrysu. Zde je dán žádaný obrys, který je porovnáván s obrysem v oblasti zájmu. Pokud se hraniční body až na malé odchylky shodují, je výsledek shody kladný. Tento případ popisuje Obr. 15.



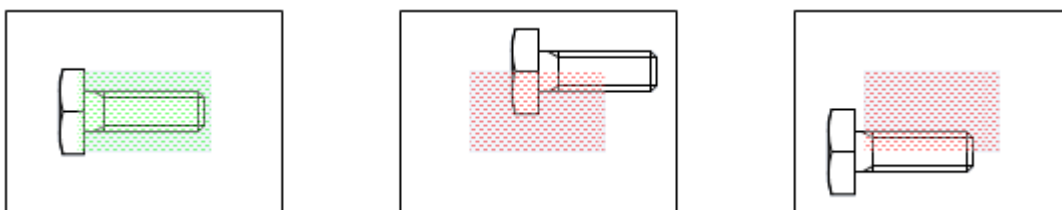
Obr. 15 – Vyhodnocení dle shody obrysu [7]

Podobnou metodou je metoda vyhodnocení dle shody vzoru. Zde se však oproti předešlé metodě nejedná jen o srovnávání pozice hraničních bodů, ale o celý vzor, který může být tvořen určitou bitmapou. Touto metodou nelze nalézt vzor v inverzní jasové podobě, ale jasová hladina může být mírně posunutá. Takto lze detekovat i vzor posunutý v obraze. Tuto metodu popisuje Obr. 16.

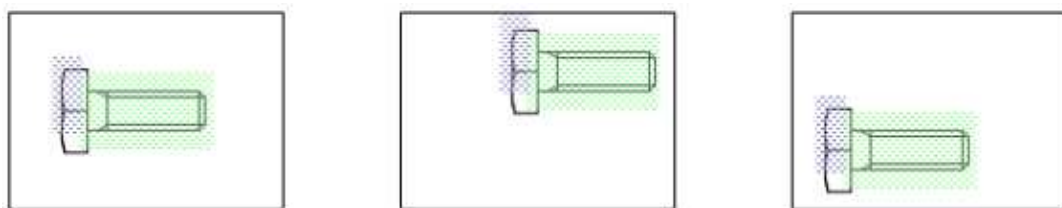


Obr. 16 – Vyhodnocení dle shody vzoru [7]

Častou vlastností kamerových snímačů je možnost použít k automatickému umístění vytvořené oblasti zájmu lokátor. Ten hledá ve snímku definovanou hranu nebo vzor a umístí oblast zájmu na relativní pozici od tohoto lokalizovaného objektu. Automatickou lokalizaci oblasti zájmu na dřívku šroubu s proměnnou polohou popisuje Obr. 18. Bez automatické lokalizace Obr. 17.



Obr. 17 – Umístění oblasti zájmu do tří různých snímků bez použití automatické lokace [6]



Obr. 18 – Umístění oblasti zájmu do tří různých snímků s použitím automatické lokace [6]

3.3 Pořízené testovací snímky

V rámci této práce byly vybrány reálné úlohy pro demonstraci nového detekčního systému a byla pořízena řada testovacích snímků.



Obr. 19 – LWR s konektorem



Obr. 20 – Pokovený rámeček s nápisem Bi-Xenon



Obr. 21 – Pokovený rámeček s nápisem Intelligent light system

4 REALIZOVANÉ ŘEŠENÍ

Tato kapitola popisuje realizaci algoritmů systému pro vyhodnocení průmyslové montáže. Algoritmy jsou vytvářeny v programovacím prostředí Microsoft Visual Studio 2008, v jazyce C/C++, s využitím knihovny OpenCV pro podporu zpracování obrazu a knihovny Qt pro tvorbu grafického rozhraní. V závěru kapitoly jsou uvedeny demonstrační příklady použití systému v reálných úlohách.

4.1 Knihovna OpenCV

„Název pochází z anglického OPEN source Computer Vision library. Je to tedy knihovna, jejíž zdrojové kódy jsou volně přístupné a je možné je upravovat. Je určena pro zpracování obrazu v reálném čase a práci s počítačovým viděním. Tato knihovna je napsána v jazyce C a C++ a běží pod operačním systémem Linux, Windows a Mac OS X. Je schopná využívat vícejádrové procesory.“ [5]

4.1.1 Pět hlavních částí knihovny

1. CXCORE – obsahuje datové struktury, maticovou algebru, správu paměti, datové transformace
2. CV – obsahuje zpracování obrazu, analýzu obrazových struktur, rozpoznání obrysů, kalibrace kamery
3. ML – Machine learning – funkce pro seskupování, klasifikaci a analýzu dat, strojové učení
4. HighGUI – poskytuje uživatelské rozhraní a funkce pro ukládání a načítání obrázků či videí
5. CVCAM – obsahuje funkce pro práci s videi

4.1.2 Instalace a nastavení OpenCV ve Visual Studiu

Aby bylo možné programovat aplikaci v Microsoft Visual Studiu a přitom využívat funkce a možnosti, které obsahuje knihovna OpenCV, je nutné ji stáhnout a přesně nastavit v operačním systému i ve Visual studiu.

Postup instalace a nastavení knihovny OpenCV do Visual Studia:

1. Stáhnout OpenCV knihovnu (verzi pro Windows a Visual Studio 2008, v této práci je použita verze 2.1) z <http://opencv.willowgarage.com/wiki/Welcome> a nainstalovat ji do počítače. Při instalaci povolit přidání OpenCV do systémové

proměnné Path. Není-li povoleno při instalaci, lze doplnit do systémové proměnné ručně ve tvaru: instalační adresář \bin - viz Obr. 22.



Obr. 22 - Nastavení knihovny OpenCV - Nastavení proměnných v systému Windows

2. Nastavení Visual Studia (instalační adresář = INSTDIR):

V nabídce Tools > Options > Project and Solutions > VC++ Directories

- vybrat "Show directories for: Include files" a přidat:

INSTDIR\include\opencv

- vybrat "Show directories for: Library files" a přidat:

INSTDIR\lib

- vybrat "Show directories for: Source files" a přidat (viz Obr. 23):

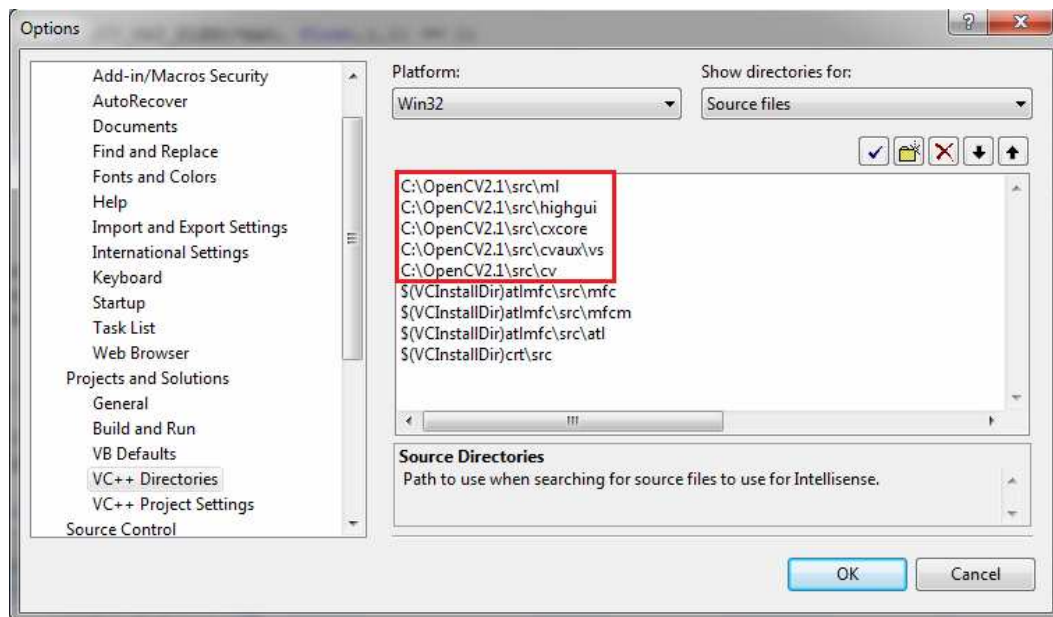
INSTDIR\src\cv

INSTDIR\src\cvaux\vs

INSTDIR\src\cxcore

INSTDIR\src\highgui

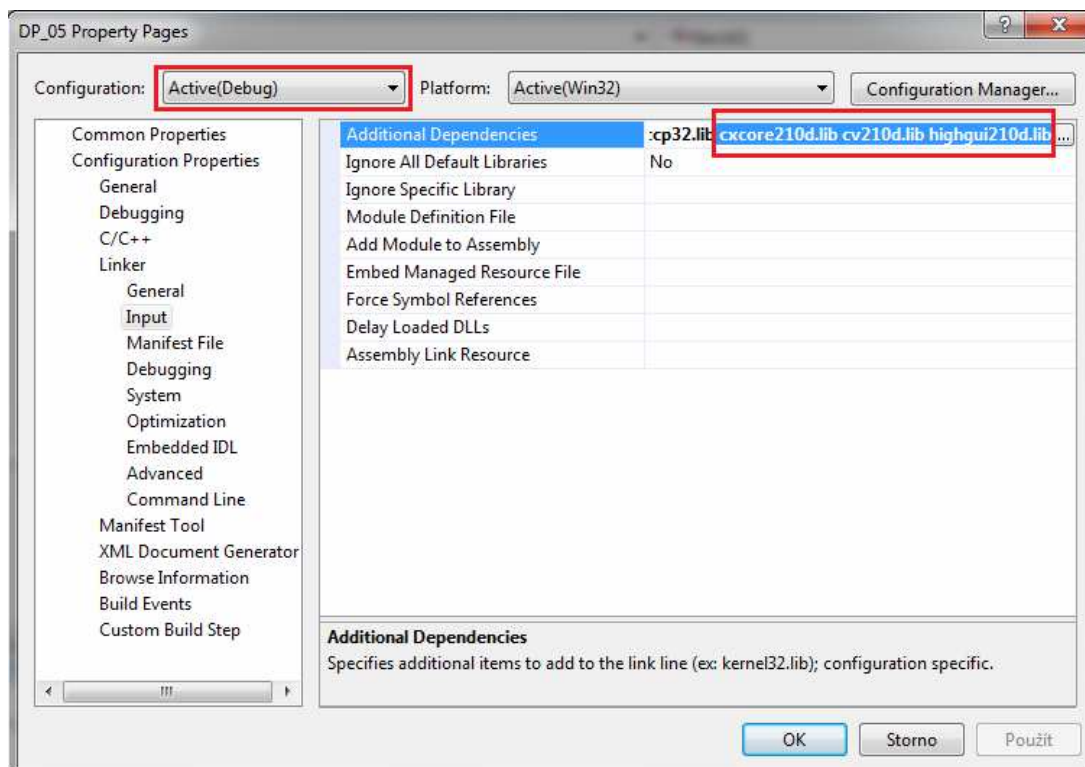
INSTDIR\src\ml



Obr. 23 - Nastavení knihovny OpenCV - VC++ Directories

3. Nastavení projektu ve Visual Studiu

Otevřít vlastnosti projektu a zde zvolit Configuration Properties > Linker > Input
Do řádku "Additional Dependencies" zadat následující řetězec pro Debug konfiguraci:
"cxcore210d.lib cv210d.lib highgui210d.lib" (viz Obr. 24) a pro Release konfiguraci
(přepnout vlevo nahoře "Configuration:"): "cxcore210.lib cv210.lib highgui210.lib"



Obr. 24 - Nastavení knihovny OpenCV - Nastavení projektu

4.2 Realizace algoritmů pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů

Následující algoritmy vyšetřují určité vlastnosti v oblasti zájmu. Program umožňuje vyznačovat jen obdélníkovou oblast zájmu (bez možnosti rotace). Dalším rozšířením měla být automatická lokalizace oblasti zájmu s pomocí určitého referenčního obrazce ve snímku.

4.2.1 Počet pixelů o určitém jasu v oblasti zájmu

Tento algoritmus prohledává vyznačenou oblast zájmu v šedotónovém snímku po jednotlivých pixelech a snímá hodnotu jasu. Je-li hodnota mezi zvolenými mezemi, je provedena inkrementace čítače vyhovujících pixelů. Poté, co se takto prohledá celá oblast zájmu, je zapotřebí porovnat hodnotu čítače se zvoleným rozmezím.

Při volání funkce, která výše popsany algoritmus provádí, je zapotřebí specifikovat snímek, ve kterém se má kontrola provádět, souřadnice oblasti zájmu, rozmezí žádaných intenzit a počet (procentuální poměr) vyhovujících pixelů v oblasti zájmu.

Volání funkce potom může vypadat takto:

```
bool pixSum(IplImage *img, CvMat* mat_ROI, int ROI_Nr)
```

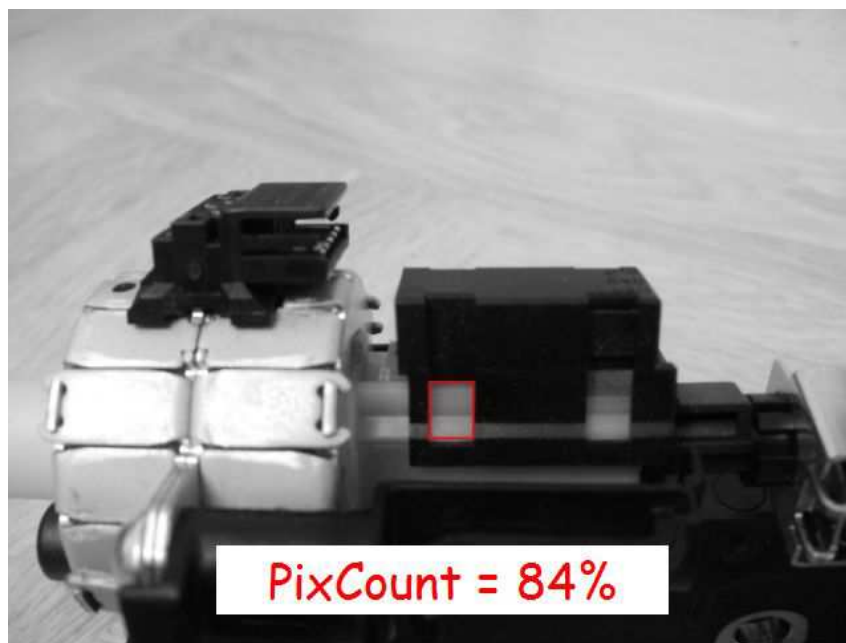
`img` – snímek

`mat_ROI` – matice se souřadnicemi ROI

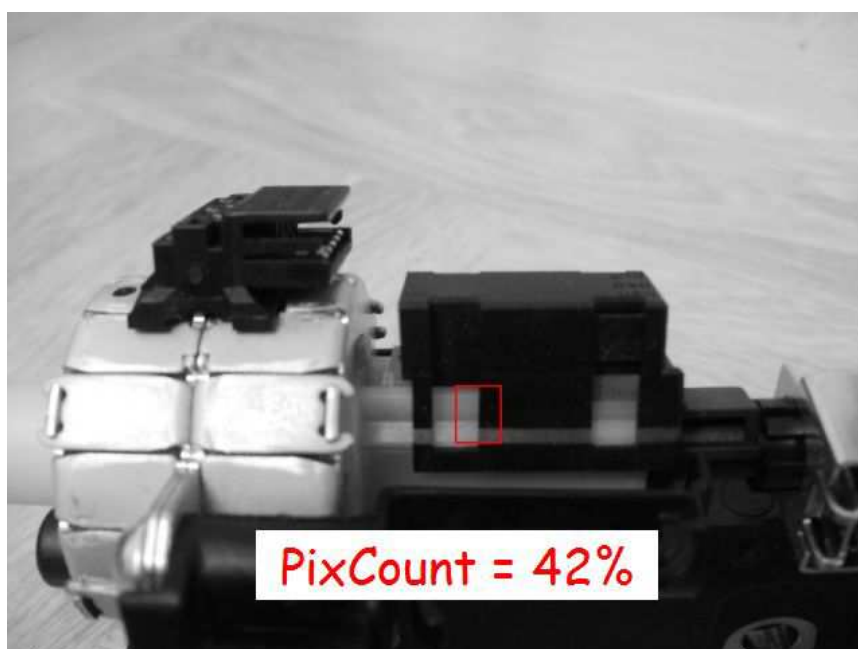
`ROI_Nr` – číslo ROI, pro který se má funkce vyhodnotit

`bool` – návratová hodnota funkce (test OK = 1, NOK = 0)

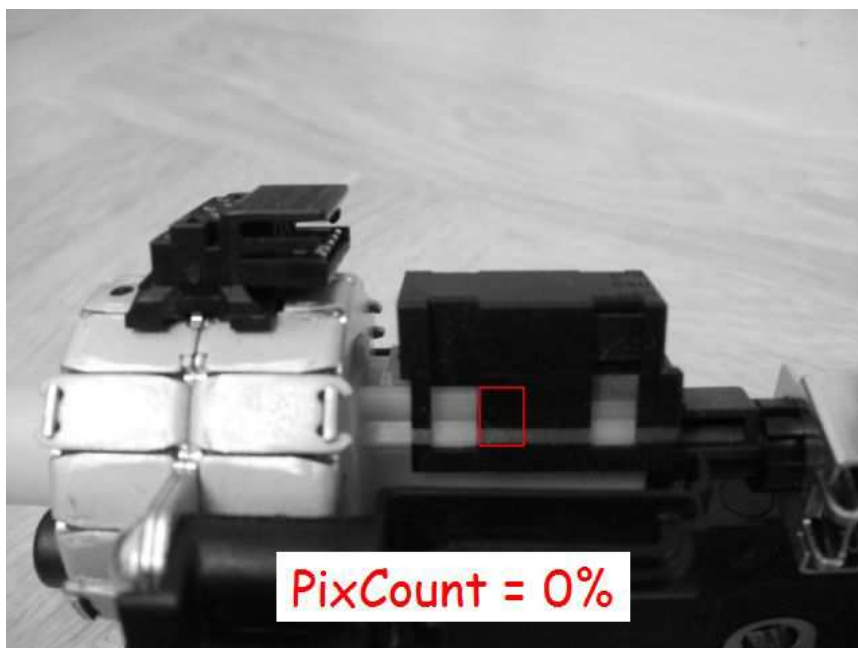
Na Obr. 25 je snímek s vyznačenou oblastí zájmu. V tomto případě byla návratová hodnota funkce poměr pixelů (poměr pixelů v rozsahu a mimo rozsah) roven 84%. Z Obr. 26 a Obr. 27 je patrné, jak se mění výsledek s posouváním oblasti zájmu mimo oblast s intenzitou odpovídající rozmezí.



Obr. 25 – Použití algoritmu – 84% pixelů v ROI v mezích jasu



Obr. 26 – Použití algoritmu – 42% pixelů v ROI v mezích jasu



Obr. 27 - Použití algoritmu – 0% pixelů v ROI v mezích jasů

Tato metoda je vhodná pro detekci přítomnosti určitých součástí (šroubků, plastů odlišné barvy, atd.), nebo polohy určitých součástí (poloha zácvaku, nasunutí konektoru, atd.).

4.2.2 Počet hran v oblasti zájmu

Tento algoritmus provede lokalizaci hran pomocí Cannyho hranového detektoru. Snímek po aplikaci hranového detektoru lze vidět na Obr. 28. Dále se aplikuje Houghova transformace pro hledání čar. Uživatel má možnost čáry filtrovat zadáním jejich minimální délky, jejich sklonu a odchylky od zadaného sklonu. Počet těchto čar se potom porovnává s rozmezím, které si uživatel zadal. Tato metoda je vhodná především pro detekci a analýzu nápisů, šrafování, prasklin, apod.

Volání funkce potom bude vypadat takto:

```
bool edge(IplImage *img_const, CvMat* mat, QRadioButton* pole[], int  
ROI_Nr, int MAXmoznyPocetROI)
```

img_const – snímek

mat – matice se souřadnicemi ROI

pole[] – pole ROI radioButton

ROI_Nr – číslo ROI, pro který se má funkce vyhodnotit

MAXmoznyPocetROI - hodnota maximálního možného počtu ROI

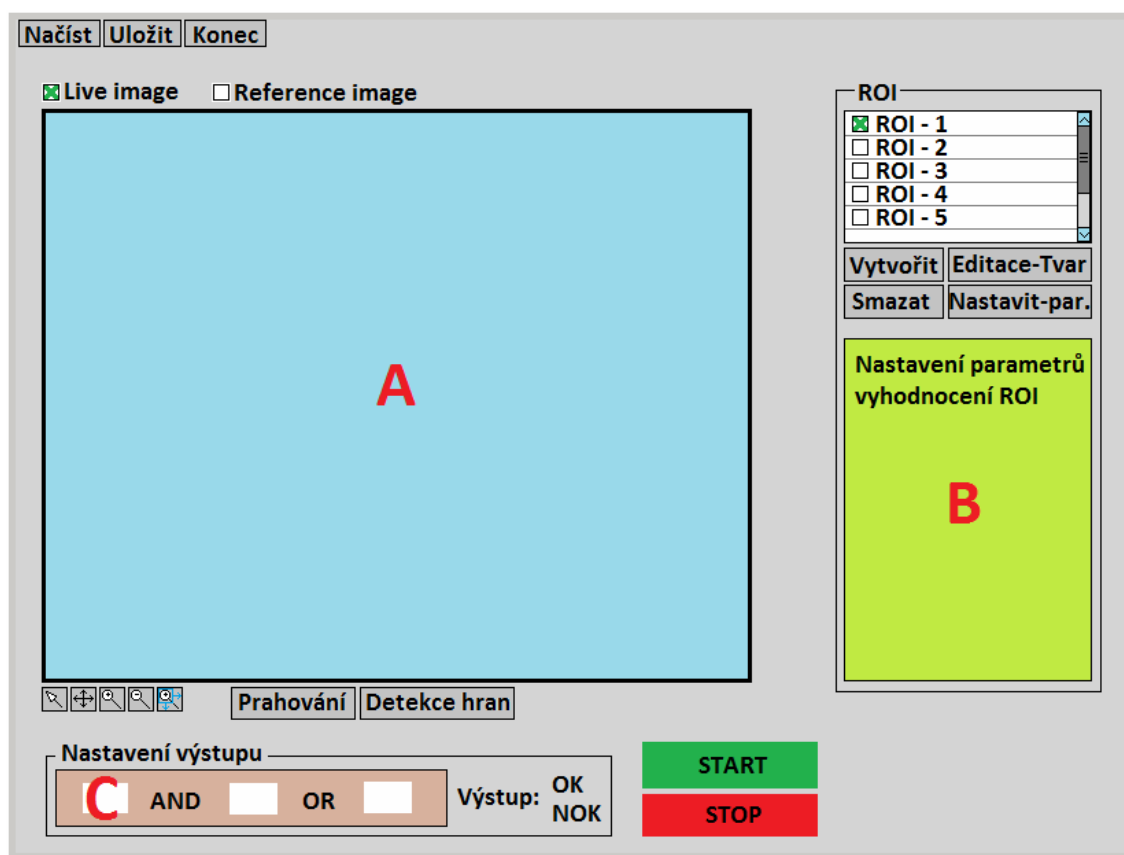
bool – návratová hodnota funkce (test OK = 1, NOK = 0)



Obr. 28 – Snímek rámečku světlometu po aplikaci hranového detektoru

4.3 Návrh uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní každého programu by mělo být pro jeho uživatele intuitivní a přehledné. Základním prvkem uživatelského rozhraní programu k nastavení vyhodnocení správnosti montáže by mělo být okno, ve kterém se bude zobrazovat snímek ze snímacího zařízení s vyznačenými oblastmi zájmu. Na bočních stranách uživatelského rozhraní by se měly nacházet nástroje pro jednoduchou úpravu snímku, jako je prahování, detekce hran a podobně, ale také především dostupné algoritmy pro detekci parametrů, které byly popsány v kapitole 3.2.



Obr. 29 – Návrh uživatelského rozhraní

Na Obr. 29 je přibližný návrh rozmístění prvků uživatelského rozhraní. Mezi základní ovládací prvky by měly patřit tři tlačítka v levé horní části okna programu. Ty by měly sloužit k načtení/uložení provedené konfigurace. Konfigurace by mohla obsahovat polohy a tvary oblastí zájmu, nastavené funkce a parametry k vyhodnocení kontrolovaných parametrů u jednotlivých oblastí. Třetí tlačítko by mohlo sloužit k ukončení programu.

V sekci, která je na obrázku označena červeným písmenem A, se budou zobrazovat snímky ze snímacího zařízení, kamery, případně se budou obrazové soubory načítat z adresáře v paměti počítače (to je případ pro testování tohoto uživatelského rozhraní).

Měla by být k dispozici i možnost vytvořit si referenční snímek pro účely nastavování ROI a jeho vyhodnocení. Referenční snímek by byl zachycen na požadavek uživatele ze snímků, které jsou periodicky získávány z reálné snímací soustavy.

Pod referenčním či aktuálním snímkem by byly v uživatelském rozhraní dostupné nástroje pro změnu zobrazení snímku. Mezi ně patří změna měřítka (zoom) snímku, přiblížení vybrané oblasti, posunování přiblížené oblasti a nástroj šipka, pro práci s ROI. Dále by bylo vhodné mít k dispozici operace prahování, detekce hran, či houghovu transformaci. Prahování by uživateli dovolilo provést přibližnou segmentaci a zjednodušený pohled na to, jak dobře bude možné kontrolovat sledované parametry (pomáhá uživateli odhadnout, jak nastavit minimum a maximum hodnoty jasu při použití funkce: „počet pixelů o určité hodnotě jasu“). Detekce hran může uživateli sloužit k nastavení a výběru nejvhodnějšího hranového detektoru. U zašuměných snímků bude nutné použít vyhlazovací funkce.

Oblast označená na Obr. 29 červeným písmenem B slouží ke správě a nastavení oblastí zájmu – ROI. V horní části je správa jednotlivých oblastí zájmu. Program by mohl mít pevně nastavené maximum jejich počtu, například 20 nebo 50. Jeden z těchto je pak možné vybrat a provádět s ním změny, jako je tvorba nové oblasti zájmu (pokud není žádná oblast ve snímku vyznačena, provede se vyznačování hranic, pokud již je vytvořena, přepíše se novým zadáním hranic), smazání oblasti zájmu, editace jejího tvaru (změna hranic oblasti zájmu, jejího tvaru apod.) a změna nastavení parametrů k vyhodnocení určité oblasti zájmu.

Při nastavování vyhodnocení oblasti zájmu se nejprve zvolí metoda vyhodnocení (např. počet pixelů o určitém jasu, počet hran, atd.), a potom přesné nastavení této metody. Každá metoda bude požadovat nastavení jiných parametrů, a proto se bude nabídka pro jednotlivé metody lišit. Příkladem této nabídky je její návrh na Obr. 30.

The image shows a user interface for parameter settings. It consists of two main sections, each with a title, a slider, a numerical input field, and a calculation.

Section 1: Rozsah jasových hodnot
 - Title: Rozsah jasových hodnot
 - Slider: A horizontal slider with markers at 0, 128, and 255. The current value is 110, indicated by a blue box around the number.
 - Calculation: A box containing the expression $70 \div 160$.

Section 2: Výsledný poměr OK/NOK
 - Title: Výsledný poměr OK/NOK
 - Slider: A horizontal slider with markers at 0% and 100%. The current value is 35, indicated by a blue box around the number.
 - Calculation: A box containing the expression $45 \div 100 \%$.

Obr. 30 – Uživatelské rozhraní – Nastavení parametrů

Dále po nastavení a vyhodnocení všech jednotlivých oblastech zájmu je nutné uživatelsky definovaným způsobem shrnout získané informace v souhrnný výsledek, zda kontrolovaná montáž je správná, či nikoliv. To by mělo být možné prostřednictvím logických funkcí (AND, OR, XOR), případně negací.

4.4 Realizace uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní bylo programováno stejně jako algoritmy pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů v jazyce C/C++. Pro tvorbu vlastního grafického prostředí byla použita knihovna Qt, která je popsána dále. Knihovna je open-source, a tak je její použití vhodné i pro případnou implementaci a použití softwaru v praxi. V této kapitole bude dále popsána také instalace a způsob použití této knihovny, vlastní grafické rozvržení systému pro kontrolu průmyslové montáže a detailně funkce, které toto prostředí obsahuje.

4.4.1 Knihovna Qt

Qt je multiplatformní knihovna pro vytváření programů s grafickým uživatelským rozhraním. Byla vyvíjena firmou Trolltech, která byla založena roku 1994. Od roku 1996 je Qt dostupná na trhu. V roce 2008 koupila Trolltech firma Nokia, která dosud Qt vlastní. Qt tvoří základ několika tisíc komerčních a open-source aplikací.

Knihovna Qt je podobný nástroj k tvorbě uživatelského rozhraní jako je knihovna MFC (Microsoft Foundation Class), který je implementován do Microsoft Visual Studio, avšak Qt je dostupná pod open-source i komerční licencí, je multiplatformní, obsahuje širokou databázi objektů pro tvorbu GUI, je možné ji používat ve více programovacích jazycích a má kvalitně zpracovanou nápovědu. [13]

Podporované platformy:

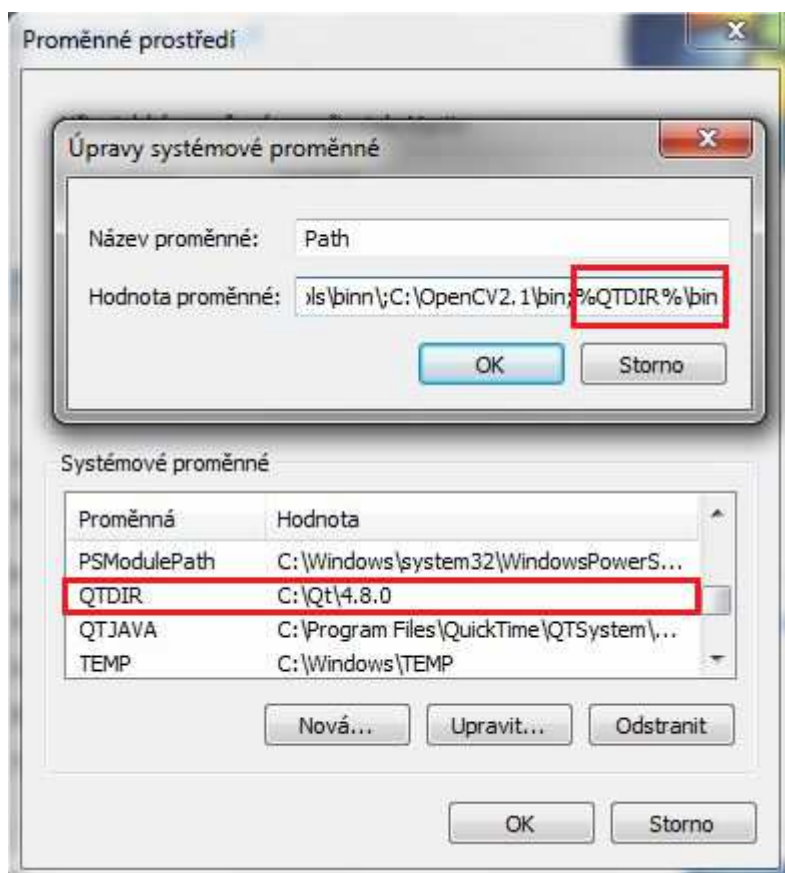
- Windows Desktop
- Windows CE and Windows Mobile
- Linux/X11
- Embedded Linux
- Mac OS X
- Symbian phones
- Nokia N9 smartphone

4.4.1.1 Qt - instalace knihovny a tvorba nového projektu

Aby bylo možné programovat v prostředí Microsoft Visual Studio 2008 a zároveň využít prvky knihovny Qt, je zapotřebí z webu <http://qt.nokia.com/products> stáhnout Visual Studio Add-in modul (pozn.: nelze použít pro Express edici Visual Studio). V této práci je použita verze Add-in modulu 4.8.0. Další nezbytnou součástí je stažení vlastní knihovny pro platformu Windows a Visual Studio (2008).

Postup instalace a nastavení Qt knihovny do Visual Studio 2008:

1. Ujistit se, zda obsahuje Visual Studio service pack 1 (SP1), jestliže ne, je zapotřebí jej stáhnout na <http://www.microsoft.com> a nainstalovat.
2. Stáhnout zmíněnou knihovnu Qt (verzi pro Windows a Visual Studio 2008) z <http://qt.nokia.com/downloads/windows-cpp-vs2008> a nainstalovat ji.
3. Vytvořit novou systémovou proměnnou s názvem QTDIR a jako hodnotu zadat adresář, do kterého je Qt knihovna nainstalována. Následně do proměnné Path přidat odkaz na nově vytvořenou proměnnou QTDIR ve tvaru %QTDIR%\bin. (viz Obr. 31)



Obr. 31 - Nastavení knihovny Qt - Nastavení proměnných v systému Windows

4. Stáhnout na adrese <http://qt.nokia.com/downloads/visual-studio-add-in> a nainstalovat Visual Studio Add-in (v této práci verze 1.1.10) .
5. Spustit Visual Studio, vytvořit nový projekt (v nabídce projektů jsou k dispozici i projekty Qt - např.: Qt application, Qt console, atd.) V projektu C/C++ se vytvoří další soubor s příponou .ui, který obsahuje okno zvolené při tvorbě projektu (hlavní nebo dialogové okno). Tento soubor se pro editaci otevře v programu Qt Designer, který byl nainstalován s jedním z předešlých prvků. Slouží pro grafický návrh, nastavení a rozmístění grafických objektů v daném okně aplikace.

4.4.1.2 Qt - Signály a sloty

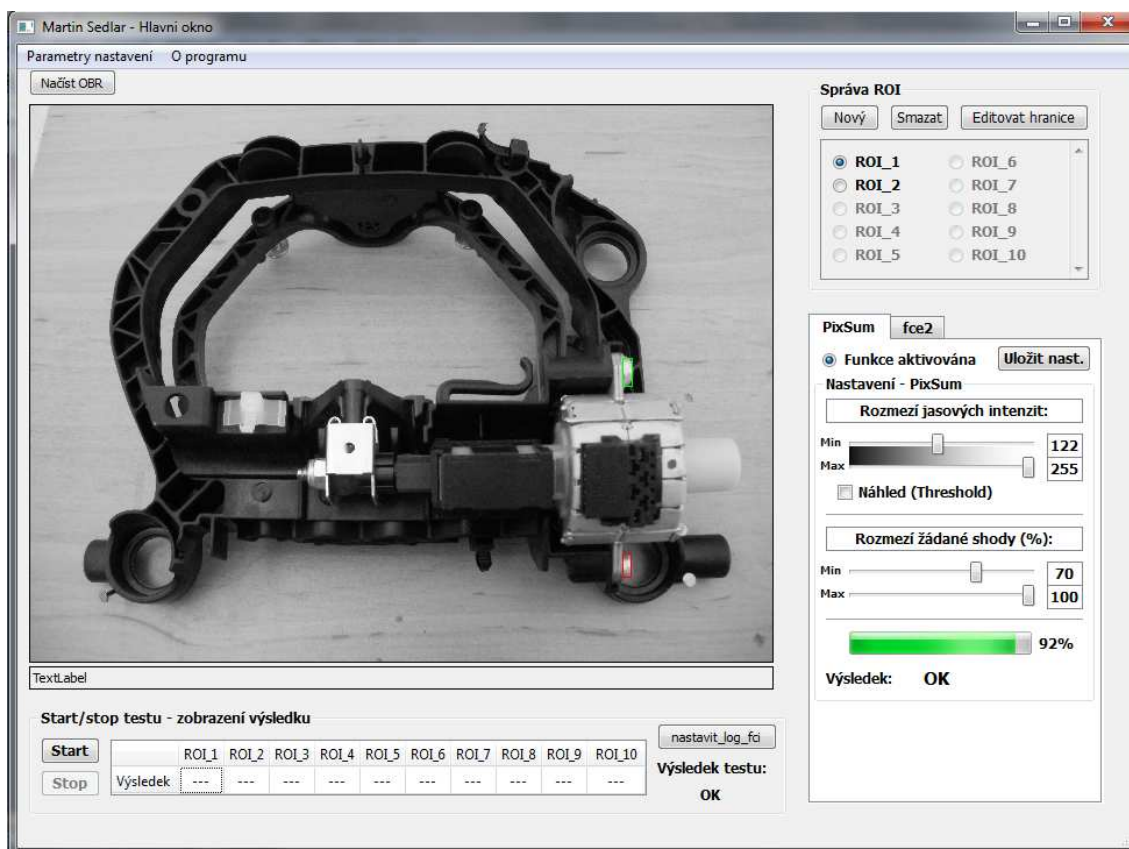
Knihovna Qt obsahuje možnost používat tzv. signály a sloty, které v obdobných programech nebývají k dispozici. Je to způsob jak přímo propojit událost (akci) určitého objektu s reakcí jiného objektu (např.: klik na určité tlačítko způsobí přechod u jiného tlačítka ze stavu enable do stavu disable). Objekty jsou tedy schopné emitovat signály (při aktivaci akce - např.: clicked, pressed, released, atd.) a reagovat na tyto signály, jsou-li imaginárně zavedeny do slotů (zdířek, např.: setChecked, setDisabled, setEnabled, show, close, atd.)

Signály lze také "zachytit" ve zdrojovém kódu ve Visual Studiu a vytvořit si vlastní reakci (funkci), která má být provedena. Na následujícím příkladu zdrojového kódu je znázorněn princip spojení signálu a funkce ve Visual Studiu. První proměnná funkce connect je ui.pushButton_Start, což je odkaz na objekt v grafickém prostředí vytvářené aplikace představující tlačítko. Dále je zadána akce, kdy je emitován signál (v tomto případě clicked(bool)). Posledními parametry jsou přijímač this a slot, tedy funkce Start().

```
MainWindow::MainWindow( ... , ... ): QMainWindow( ... , ... )
{
    connect(ui.pushButton_Start,SIGNAL(clicked(bool)),this,SLOT(Start()));
    ...
}
```

4.4.2 Realizace grafického rozhraní

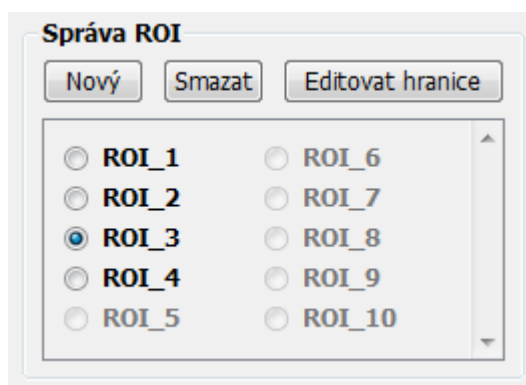
Pro tvorbu grafického rozhraní byla použita výše zmíněná knihovna Qt. V prostředí Qt Designer bylo provedeno rozmístění grafických objektů a nastavení jejich základních parametrů. Algoritmy byly psány v jazyce C/C++ v prostředí Microsoft Visual Studio 2008. Rozmístění prvků na hlavním okně v převážné většině odpovídá návrhu provedenému v této práci. Uživatelské rozhraní je jednoduché a mělo by poskytnout uživateli se základními znalostmi počítačového vidění možnost nastavit systém pro kontrolu průmyslové montáže.



Obr. 32 - Hlavní okno pro nastavení systému pro kontrolu průmyslové montáže

4.4.2.1 Správa oblastí zájmu

V pravé horní části se nachází správa oblastí zájmu (ROI). Její podoba odpovídá návrhu, který byl proveden v této práci. Počet ROI byl nastaven na 10, což by mělo být dostatečné množství pro všechny základní aplikace systému pro průmyslovou kontrolu. Uspořádání popisuje Obr. 33.



Obr. 33 - Hlavní okno - Správa ROI

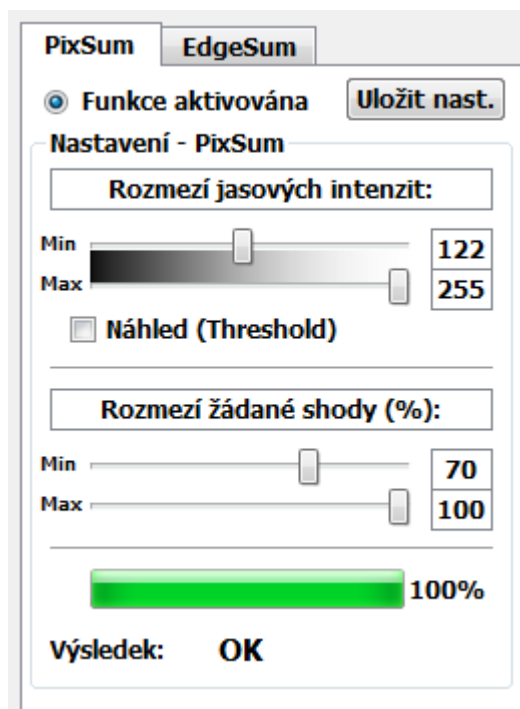
Chceme-li přidat novou oblast zájmu, musíme nejdříve stisknout tlačítko "Nový", a potom zadat kliknutím do snímku dva body, které mají tvořit rohy obdélníkové oblasti zájmu. Po kliknutí na první bod se začne mezi ním a kurzorem myši vykreslovat vytvářená obdélníková oblast zájmu, což pomáhá k vytvoření oblasti přesně dle požadavku uživatele.

Aktivní (vytvořené) oblasti zájmu jsou v seznamu vyznačeny černou barvou, neaktivní jsou vyznačeny šedou. Každá z oblastí zájmu je v seznamu ve formě tzv. radioButton, takže lze vždy jednu z aktivních oblastí vybrat kliknutím na ni. Vybranou oblast lze stisknutím tlačítka "Smazat" vymazat, nebo upravit hranice oblasti zájmu stiskem tlačítka "Editovat hranice". Pro úpravu zmíněných hranic je postup podobný jako při tvorbě nové oblasti. Nejprve stisknout odpovídající tlačítko, a poté zadat dva nové/upravené body obdélníka v referenčním snímku.

Zároveň se také výběrem některé z aktivních oblastí zájmu zpřístupní sekce pro nastavení funkce, kterou se má vyhodnotit daná oblast zájmu. Navíc je zvolená oblast zájmu signalizována v referenčním snímku čtvercem zelené barvy, zatímco ostatní oblasti zájmu ve snímku jsou vyznačeny červeně.

4.4.2.2 Nastavení funkcí pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů

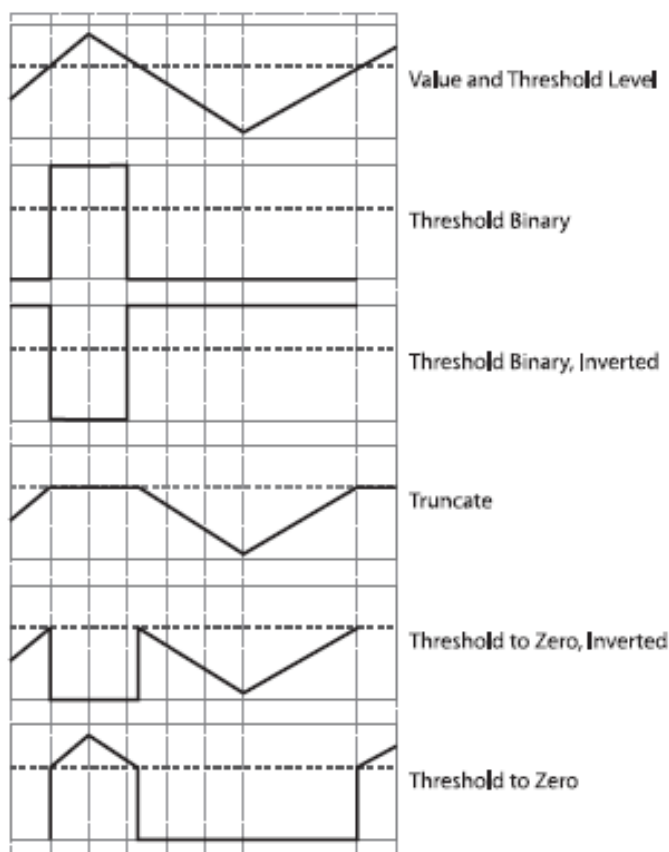
Sekce pro nastavení funkcí pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů se nachází v pravé dolní části hlavního okna programu a je uspořádána do záložek. Na první záložce jsou prvky k nastavení parametrů funkce "PixSum", která slouží k vyhodnocení oblasti zájmu podle toho, kolik pixelů o určitém rozmezí jasu se v oblasti nachází.



Obr. 34 - Hlavní okno - Sekce pro nastavení funkce PixSum

Chce-li uživatel systému nastavit k vyhodnocení dané oblasti zájmu právě funkci PixSum a zpřístupnit si nastavovací prvky této funkce, musí nejdříve zatrhnout políčko "Funkce aktivována". Na výše uvedeném Obr. 34 jsou patrné nastavovací prvky v podobě dvou posuvníků. Prvním se zadává minimální hodnota jasu a druhým maximální hodnota (0-255) jasu, který je v oblasti zájmu žádaný. Mezi posuvníky je barevný pruh, jehož barva se zleva plynule mění od černé do bílé. Díky němu je možné lépe a rychleji odhadnout pozici pro nastavení posuvníků.

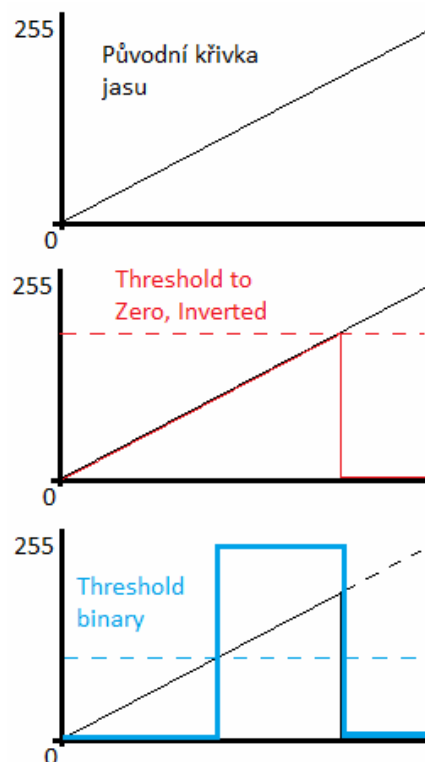
Dále je možné zapnout pomocí "zatrhávacího" pole náhled, který provede prahování o dvou prazích. Prahy odpovídají výše popsaným hodnotám jasu. Funkce `cvThreshold` je spuštěna dvakrát s různými parametry. Typy prahovacích funkcí jsou znázorněny na Obr. 35.



Obr. 35 - Typy prahovacích funkcí [4]

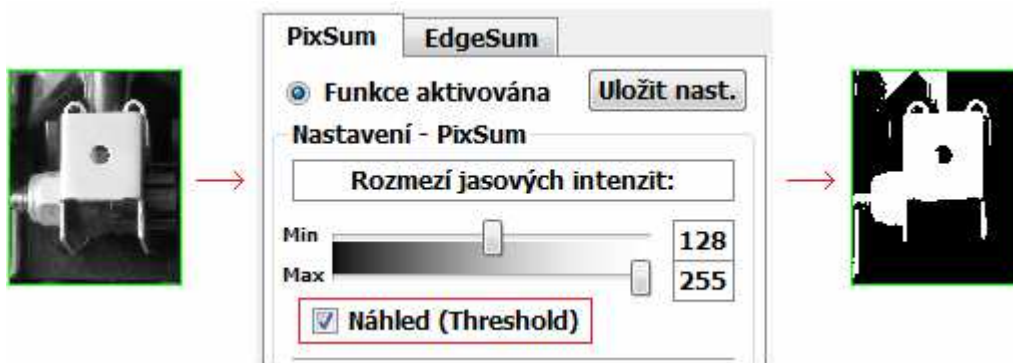
Kombinací typů "Threshold to Zero, Inverted" a "Threshold Binary" při prahování lze dosáhnout segmentace pixelů o jasu v zadaném rozmezí. Princip filtru popisuje Obr. 36. Použití funkcí `cvThreshold` je potom následující:

```
cvThreshold(img, img_view_1, Slider_Max, 255, CV_THRESH_TOZERO_INV);
cvThreshold(img_view_1, img_view_1, Slider_Min, 255, CV_THRESH_BINARY);
```



Obr. 36 - Tvorba prahování se dvěma prahy

Nastaví-li uživatel přibližné rozmezí jasu a zatrhne pole "Náhled", může dále měnit jasové rozmezí a pozorovat, jak se dynamicky mění segmentace referenčního snímku. Při segmentaci jsou oblasti, které vyhovují rozmezí jasu, označeny bílou barvou, ostatní černou. Pro uživatele je to výhodný nástroj k nastavení jasového rozmezí. Lze totiž snadno pozorovat, zda-li objekt zájmu na referenčním snímku dostatečně vyniká oproti okolí a zároveň, jestli je systém schopný jej spolehlivě detekovat. Tak lze také jednoduše nastavit přirozenou toleranci hodnot jasu. To je důležité v případě, kdy vlivem změny světelných podmínek (den/noc, umělé/přírodní osvětlení) se mění i jas získaného snímku. Použití znázorňuje Obr. 37.



Obr. 37 - Použití náhledu u funkce PixSum

Na závěr nastavení funkce `PixSum`, je zapotřebí specifikovat procentuální poměr (jeho rozmezí) všech pixelů v oblasti zájmu ku počtu pixelů, které vyhověly rozmezí jasu. K tomu slouží poslední dva posuvníky na záložce funkce `PixSum`. Pod nimi je ještě pro jednodušší nastavování funkce umístěn ukazatel průběhu ("`progressBar`"). Ten ukazuje aktuální hodnotu procent, které vyhověly funkci `PixSum`. Pod tímto ukazatelem je zobrazen text "OK", respektive "NOK", podle toho, zda test `PixSum` byl vyhodnocen s kladným výsledkem nebo ne.

Chce-li uživatel systému uložit aktuální konfiguraci, musí být zatrhnuto políčko "Funkce aktivována", čímž je jasně definováno, že se má právě tato funkce použít pro vyhodnocení dané oblasti zájmu. Pak stačí stisknout tlačítko "Uložit nast." Tím se všechny nastavené parametry uloží do matice, pro další zpracování. Popis matice je v následující kapitole.

Druhou záložkou v sekci pro nastavení vyhodnocovacích funkcí je "EdgeSum". Je to funkce, která provede detekci hran v oblasti zájmu pomocí Cannyho hranového detektoru. Potom se pomocí Houghovy transformace vyhledají ve hranách čárové úseky. Z těchto čar se uživatelsky nastavenou filtrací vyberou jen ty čáry, které jsou pro uživatele cenné k vyhodnocení oblasti zájmu.

Obr. 38 - Hlavní okno - Sekce pro nastavení funkce EdgeSum

Na Obr. 38 jsou patrné nastavovací prvky (posuvníky) pro parametrizaci Cannyho hranového detektoru. Jedná se o parametry `thresh_1` a `thresh_2`, což je první a druhá hodnota Cannyho prahování. Potom volání funkce `cvCanny` vypadá následovně:

```
cvCanny(img_ROI, img_ROI, thresh_1, thresh_2, 3);
```

kde `img_ROI` - vstupní/výstupní oblast zájmu (`IplImage`).

Poté se provede výše zmíněná Houghova transformace, jejíž výsledkem je množina detekovaných čar. Jeden z parametrů Houghovy transformace může uživatel systému nastavovat, a to minimální délku čáry, která může být uznána za čáru. Volání funkce `cvHoughLines2` potom vypadá následovně:

```
CvSeq* lines = cvHoughLines2(img_ROI, storage, CV_HOUGH_PROBABILISTIC,
1, CV_PI/180, 1, Delka_hrany_min, 10);
```

kde `img_ROI` - vstupní oblast zájmu (`IplImage`)

`storage` - úložiště pro detekované čáry

`CV_HOUGH_PROBABILISTIC` - varianta Houghovy transformace

`rho = 1` - rozlišení vzdálenosti

`theta = CV_PI/180` - rozlišení úhlu

`threshold = 1` - hodnota prahu

`Delka_hrany_min` - minimální délka čáry, aby mohla být čára uznána

`Max_mezera = 10` - max. mezera mezi čarami (spojení v jednu čáru).

Dále má uživatel možnost nastavit si filtr, kterým může vybrat jen čáry o určitém sklonu. Sklon lze zadat v rozsahu -90 až 90° a tolerance tohoto sklonu také -90 až 90° . Sklon 0° odpovídá rovnoběžce se spodní stranou referenčního snímku (vodorovný směr). Na závěr je nutné také nastavit, kolik hran odpovídajících zvoleným kritériím má systém považovat za správný a jaké může být jeho rozpětí. K tomu slouží poslední dva posuvníky určující minimum a maximum akceptovatelných hran. Protože počet hran v oblasti zájmu se dá těžko vztáhnout k určitému maximálnímu počtu hran. Nelze ho totiž jednoduše určit. Při nastavování parametrů funkce `EdgeSum` na referenčním snímku jsou hrany vyhodnocovány a sčítány. Pro nastavení maxima posuvníků se použije dvojnásobek tohoto počtu detekovaného při nastavování systému. Uživatel má tedy možnost zadat rozsah počtu akceptovaných hran od 0 do dvojnásobku hran, které byl algoritmus `EdgeSum` schopen detekovat při nastavování na referenčním snímku.

Bude-li při spuštění systému na reálné úloze detekovaný počet větší než dvojnásobek zmiňovaného maximálního počtu, nebude oblast zájmu vyhodnocena kladně. Systém totiž předpokládá, že více než dvojnásobek hran v oblasti zájmu oproti referenčnímu snímku nemůže představovat smysluplnou informaci k vyhodnocení.

Po dokončení nastavení funkce `EdgeSum`, platí stejný postup pro uložení aktuální konfigurace jako u funkce `PixSum`. Tzn. musí být zatrhnuto políčko "Funkce aktivována", čímž je jasně definováno, že se má právě tato funkce použít pro vyhodnocení dané oblasti zájmu. Pak stačí stisknout tlačítko "Uložit nast." Tím se

všechny nastavené parametry uloží do matice, pro další zpracování. Popis matice je v následující kapitole.

4.4.2.3 Ovládání testu a nastavení logické rovnice

Je-li dokončeno vytváření oblastí zájmů a všechny oblasti mají nastavenou vyhodnocovací funkci, je nutné z jednotlivých logických výsledků (log 0 / log 1) získat souhrnný výsledek, který bude charakterizovat, zda je snímaná průmyslová montáž v pořádku či nikoliv. K tomu slouží sekce, která je umístěna ve spodní části hlavního okna (viz Obr. 39). Po stisku tlačítka "Start" se vyhodnotí funkce jednotlivých oblastí zájmu, a jejich výsledek se promítne do tabulky. Pokud bylo vyhodnocení úspěšné, zobrazí se u daného ROI logická 1 a buňka v tabulce se zvýrazní zelenou barvou. Pokud bylo vyhodnocení neúspěšné, doplní se logická 0 a barva buňky je červená. Probíhá-li test, jsou uživateli v hlavním okně zneprístupněny sekce pro správu ROI a nastavování jejich funkcí.

	ROI_1	ROI_2	ROI_3	ROI_4	ROI_5	ROI_6	ROI_7	ROI_8	ROI_9	ROI_10
Výsledek	1	1	0	1	---	---	---	---	---	---

Obr. 39 - Hlavní okno - Sekce pro spuštění a nastavení testu

Abychom však získali celkový výsledek testu, je zapotřebí nastavit logickou funkci, kterou se mají jednotlivé výsledky vyhodnotit. Uživatel stiskne tlačítko "Nastavit_log_fci" a zobrazí se dialogové okno (viz Obr. 40). V tomto okně je tabulka pro 10 logických rovnic. Uživatel systému může upravovat, mazat a vytvářet nové rovnice. Protože se rovnice vyhodnocují postupně odshora dolů, je ke změně jejich pořadí k dispozici možnost posouvat rovnice nahoru a dolů.

Pro editaci rovnice je nutné nejdříve rovnici vybrat kliknutím na daný řádek s rovnicí, potom se po stisku tlačítka "Upravit rovnici" načtou upravovaná data do polí pro výběr operandu ("comboBox"). Ve výběrovém poli pro sloupec "výsledek" jsou vždy jen výsledkové proměnné `vysled._1` až `vysled._10`. V polích pro sloupec "operand1" a "operand2" je možné zvolit proměnné `ROI_1` až `ROI_10` a také `vysled._1` až `vysled._10`. Binární hodnotu operandů lze negovat zatržením odpovídajících políček "Negace" pod polem pro výběr operandu. Operátor lze volit: AND, OR a XOR. Po editaci lze uložit změněnou rovnici kliknutím na tlačítko "Uložit změny" nebo je zrušit kliknutím na "Zrušit změny".

Rovnice jsou vyhodnocovány ve tvaru "výsledek = operand 1 (operátor) operand 2" postupně odshora dolů. Hodnota v poli "výsledek" u poslední rovnice je souhrnným výsledkem celého testu. Pokud je spuštěn test, pak jsou známy výsledky vyhodnocení jednotlivých oblastí zájmu a lze barevně odlišit buňky v tabulce, podobně jako

u tabulky v hlavním okně. Je-li výsledná logická hodnota v buňce rovna 0, pak je buňka červená, pokud je rovna 1, pozadí je zelené. Jsou-li hodnoty v tabulce neznámé (například pokud zatím nebyl výsledek `vysled._7` vyhodnocen, nebo je použit `ROI_7`, který nebyl vytvořen), pak má buňka bílou barvu. I když je test spuštěn, je možné přidávat a editovat rovnice. Uživatel tak má přímou zpětnou vazbu o binárních hodnotách proměnných a názorně vidí, jaký bude souhrnný výsledek, případně lze také rychle vyhledat oblast zájmu, kvůli které neměl celkový test kladný výsledek. Nemí-li spuštěn test při otevření dialogového okna pro nastavení logické funkce, pak mají všechny buňky bílé pozadí a je také možné vytvářet a editovat rovnice stejně jako při spuštěném testu.



Obr. 40 - Dialogové okno pro nastavení logické funkce

Při potvrzení dialogového okna tlačítkem "OK (Uložit)" se uloží nastavené rovnice do paměti v podobě matice (bude popsáno v následující kapitole). Stiskem tlačítka "Zrušit" nebo zavřením okna se změny neuloží a při opětovném otevření okna se načtou původní data beze změn.

4.4.3 Struktura matic pro uložení zadaných parametrů

Všechny parametry a vlastnosti oblastí zájmu je zapotřebí určitým způsobem ukládat do paměti. K tomuto účelu v programu pro kontrolu průmyslové montáže slouží především dvě matice. První z nich má název `mat_ROI` a obsahuje správu oblastí zájmu a parametry funkcí k nim přiřazených. Je to matice o rozměru 11 řádků a 20 sloupců. Lze tedy vytvořit a uložit 10 oblastí zájmu. Nultý řádek je pro pomocná data (viz Tab. 1). V tomto případě se jedná pouze o celkový počet prvků, který je uložen na pozici (0,0).

číslo řádku/ sloupce	0	1	2	3	4	5	6	7	...	19
	Celk. počet ROI	-	-	-	-	-	-	-	...	-
0		-	-	-	-	-	-	-	...	-

Tab. 1 - Matice pro správu ROI - řádek 0

číslo řádku/ sloupce	0	1	2	3	4	5	6	7	...	19
	Číslo ROI	ROI aktivní ? (log 0/1)	x-souřadnice ROI (bod vlevo nahoře)	y-souřadnice ROI (bod vlevo nahoře)	x-souřadnice ROI (bod vpravo dole)	y-souřadnice ROI (bod vpravo dole)	Zvolená funkce k vyhodnocení kontrolovaných parametrů (1 = PixSum, 2 = EdgeSum)	zvolená funkce - parametr č.1	...	zvolená funkce - parametr č.13
1	1								...	
2	2								...	
3	3								...	
4	4								...	
5	5								...	
6	6								...	
7	7								...	
8	8								...	
9	9								...	
10	10								...	

Tab. 2 - Matice pro správu ROI - řádek 1 až 10

Druhá tabulka (Tab. 2) popisuje zbývající část struktury matice `mat_ROI`. Nultý sloupec obsahuje pořadová čísla oblasti zájmu. První sloupec značí, zda je daná oblast aktivní, tzn. zda je vytvořen a má odpovídající oblast vyznačenu v referenčním snímku (nebyl vymazán). Další čtyři sloupce obsahují souřadnice levého horního a pravého dolního rohu obdélníkové oblasti zájmu. Šestý sloupec označuje, zda byla u dané oblasti zvolena jako vyhodnocovací funkce `PixSum` (v matici značeno "1") nebo `EdgeSum` (v matici značeno "2"). Sloupce 7 až 19 slouží k uložení jednotlivých parametrů funkcí. U funkce `PixSum` jsou to parametry: minimální hodnota jasu, maximální hodnota jasu, procentuální shoda-minimum, procentuální shoda-maximum. Funkce `EdgeSum` potřebuje uložit tyto parametry: Cannyho hodnota `Thresh1` a `Thresh2`, minimální délka hrany, sklon a tolerance sklonu hrany, procentuální shoda-minimum, procentuální shoda-maximum.

Podobně, jako data o vytvořených oblastech zájmu a jejich funkcích, je zapotřebí ukládat i logické rovnice, které uživatel definuje v dialogovém okně pro jejich správu. Matice se jmenuje `mat_fce` a její nultý řádek slouží také jako pomocná data. Na pozici (0,0) je počet vytvořených funkcí. Prvek na pozici (0,1) je číslo upravované rovnice, to slouží k uložení čísla označené rovnice, při stisku tlačítka "Upravit rovnici". Při její úpravě je totiž možné označit i jinou rovnici a tak je zapotřebí mít původní polohu uloženou. Ve třetím sloupci je uložena informace, zda je spuštěn v hlavním okně test, nebo ne. Pak algoritmy obstarávající hlavní okno předají tuto matici oknu dialogovému, dle informace o spuštění testu. Poté dle binárních výsledků označí buňky barevně, nebo je nechá bílé.

číslo řádku/ sloupce	0	1	2	3	4	5
	Počet funkcí	Číslo upravované rovnice	-	Test spuštěn? (log 0/1)	-	-
0			-		-	-

Tab. 3 - Matice pro správu logických rovnic - řádek 0

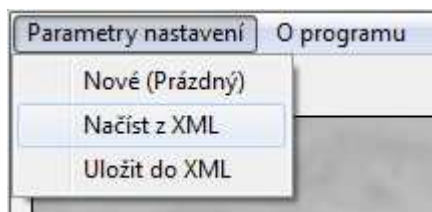
Struktura zbývající části tabulky je patrná z Tab. 4. Může popisovat maximálně 10 rovnic. Sloupce obsahují informaci o zvoleném výsledku, operandu 1 a jeho negaci, operátoru a operandu 2 a jeho negaci.

Číslo řádku/ sloupce	0	1	2	3	4	5
	Výsledek	Negace-Operand 1	Operand 1	Operátor	Negace-Operand 2	Operand 2
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Tab. 4 - Matice pro správu logických rovnic - řádek 1 až 10

4.4.4 Export/Import konfigurace do XML

Potřebuje-li uživatel systému uložit výše popsané konfigurační matice do souboru, aby je mohl načítat po opětovném spuštění aplikace, musí k tomu použít export do XML souboru. Slouží k tomu v hlavním okně nabídka "Parametry nastavení" (viz Obr. 41). K načítání i ukládání do XML jsou použity funkce OpenCV (`cvReadByName` a `cvWrite`) pro práci se soubory XML/YML.



Obr. 41 - Hlavní okno - Nabídka parametry nastavení

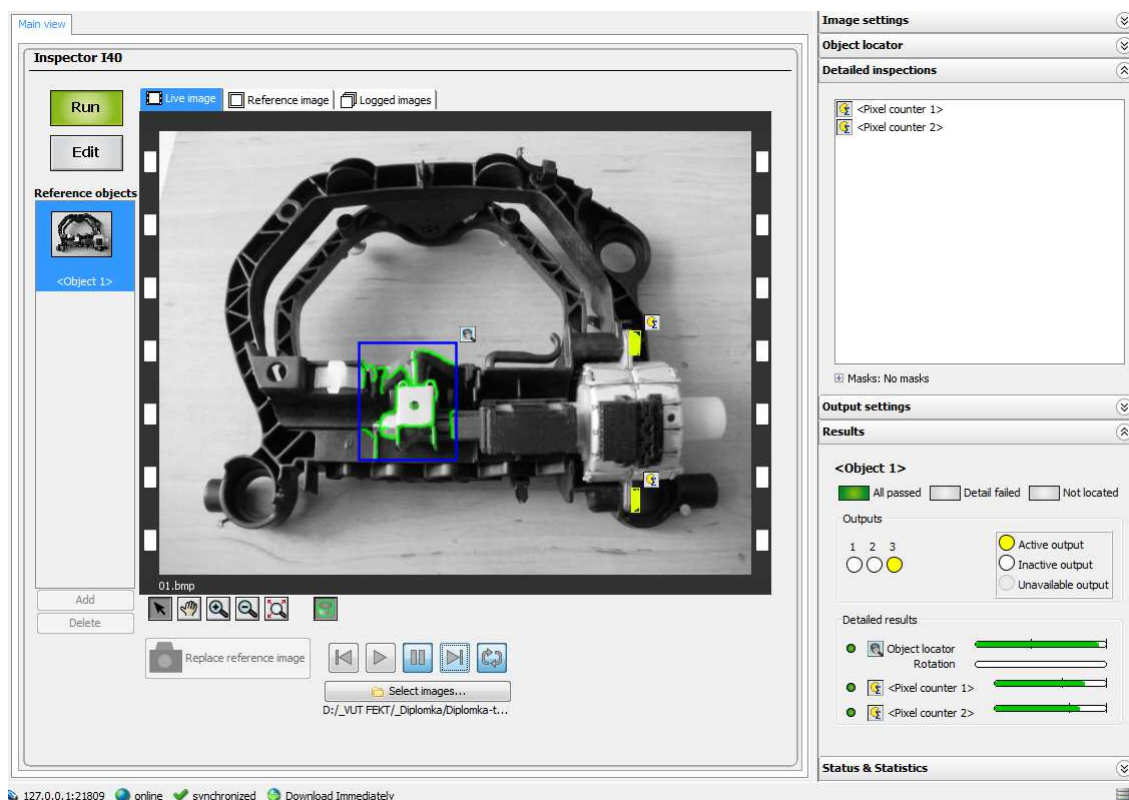
Příklad vygenerovaného XML souboru:

```
<?xml version="1.0"?>
<opencv_storage>
<A type_id="opencv-matrix">
<rows>11</rows>
<cols>20</cols>
<dt>f</dt>
<data>
2. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
1. 1. 315. 278. 350. 324. 1. 72. 255. 50. 100. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0.
2. 1. 435. 271. 468. 322. 1. 44. 255. 50. 100. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
</data></A>
<B type_id="opencv-matrix">
<rows>11</rows>
<cols>6</cols>
<dt>f</dt>
<data>
5. 0. 0. 1. 0. 0.
2. 0. 11. 2. 0. 12.
3. 0. 11. 1. 1. 12.
7. 1. 11. 3. 1. 12.
5. 0. 11. 3. 0. 12.
6. 0. 11. 3. 1. 12.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
</data></B>
</opencv_storage>
```

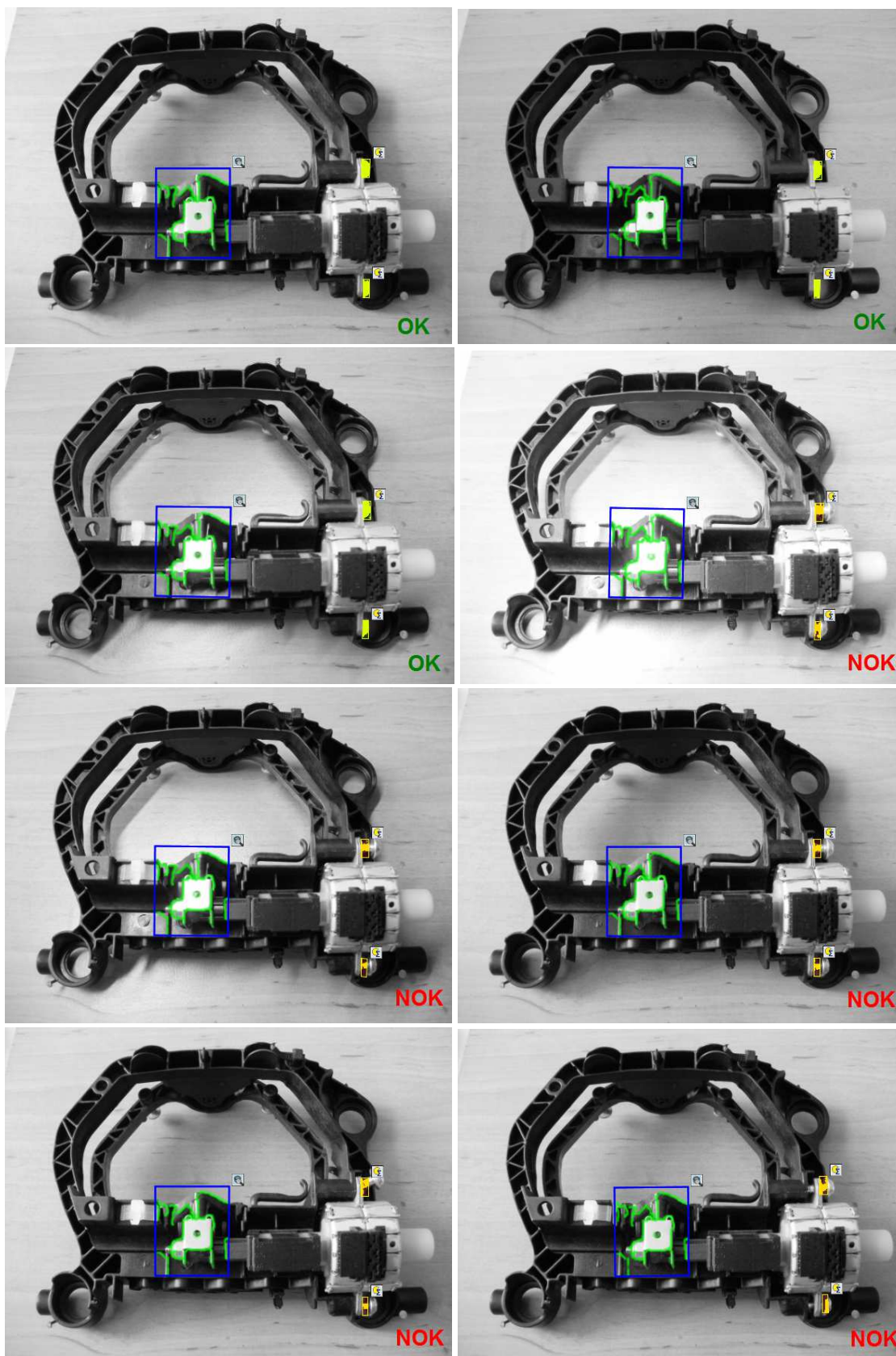
4.5 Testování systému na reálné úloze

K otestování systému pro kontrolu průmyslové montáže byla zvolena reálná úloha kontroly přítomnosti šroubů a správnosti jejich zašroubení do rámu pro xenonový modul, který je součástí automobilového světlometu. Tato úloha byla nakonfigurována v systému pro kontrolu průmyslové montáže, který byl v této práci navržen a realizován. Pro srovnání s existujícím komerčním systémem byl vybrán systém od firmy SICK, který se jmenuje SOPAS Engineering Tool. Snímek okna tohoto programu při nastavování oblastí zájmu a automatické lokalizace znázorňuje Obr. 42.

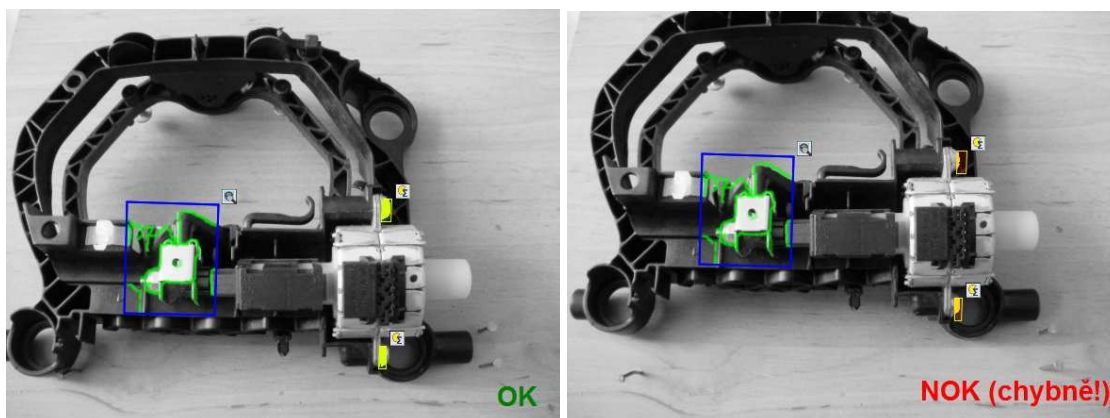
Hlavní výhodou tohoto komerčního systému je zmíněná funkce automatické lokalizace, která je v tomto programu nazvána "Object Locator". Tuto funkci systém vytvořený v této práci neobsahuje, což je velkou nevýhodou, dojde-li k posunutí snímaného předmětu ve scéně. Při konfiguraci komerčního systému byla automatická lokalizace využita a určovala tak pozici dvou oblastí zájmu. Obě měly jako vyhodnocovací funkci zvolenou: počet pixelů a určitým jasu, která je v komerčním systému nazvána "Pixel counter". Tyto funkce byly nastaveny tak, aby snímaly šrouby v dotažené poloze, které upevňují LWR (motor ke směřování svícení světlometu) do rámu. Výsledky zpracování deseti různých reálných snímků systémem SOPAS Engineering Tool lze pozorovat na Obr. 43 a Obr. 44.



Obr. 42 - Hlavní okno systému SOPAS Engineering Tool od fy SICK



Obr. 43 - Vyhodnocené snímky systémem SOPAS Engineering Tool od fy SICK

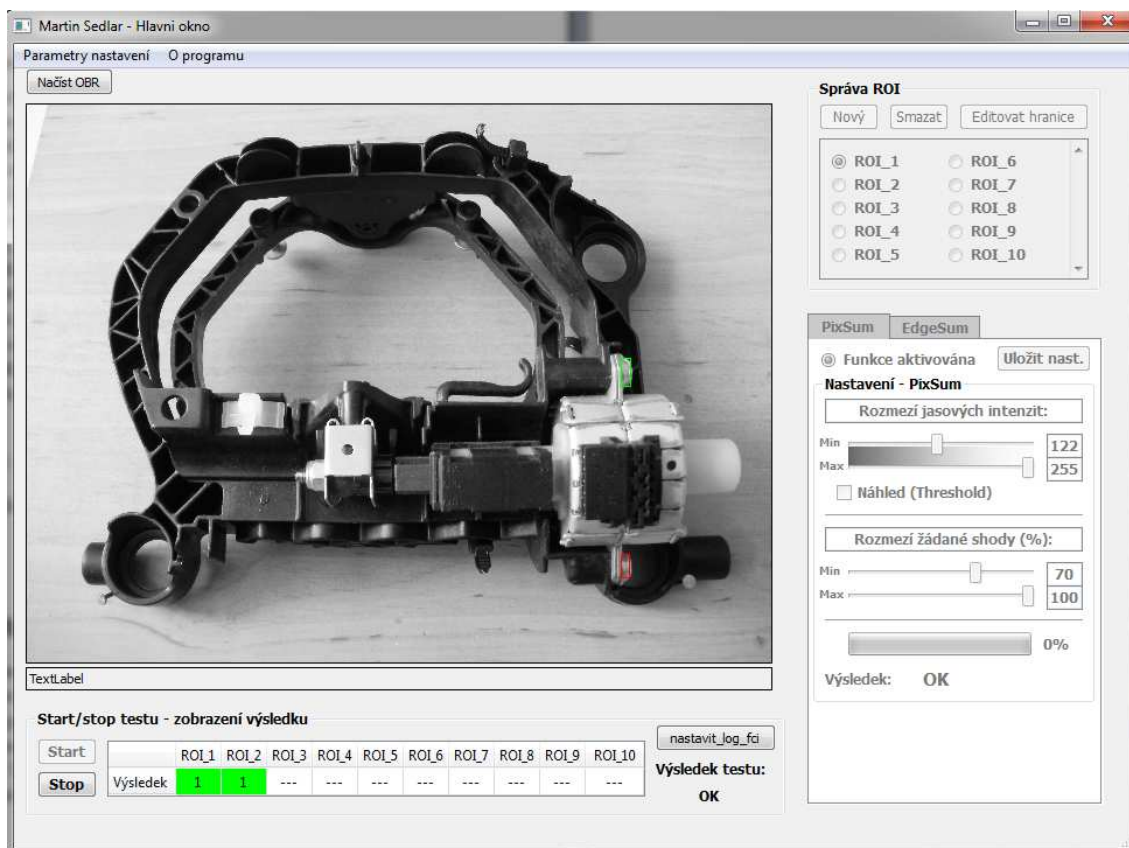


Obr. 44 - Vyhodnocené snímky systémem SOPAS Engineering Tool od fy SICK

Při získávání reálných snímků byl kladen důraz na drobné odlišnosti na jednotlivých snímcích. Na některých snímcích byl testován vliv intenzity osvětlení na vyhodnocení snímků. Bylo snímáno při denním světle, při zastínění světla a při osvětlení externím zdrojem světla. Dále se snímky odlišovaly dle zašroubení kontrolovaných šroubů do rámu. Na snímcích jsou šrouby zcela zašroubené, zčásti zašroubené, zčásti zašroubené s povysunutou přírubou LWR a zešíkma zašroubené. Ve všech těchto případech systém od firmy SICK vždy vyhodnotil kontrolovanou montáž správně.

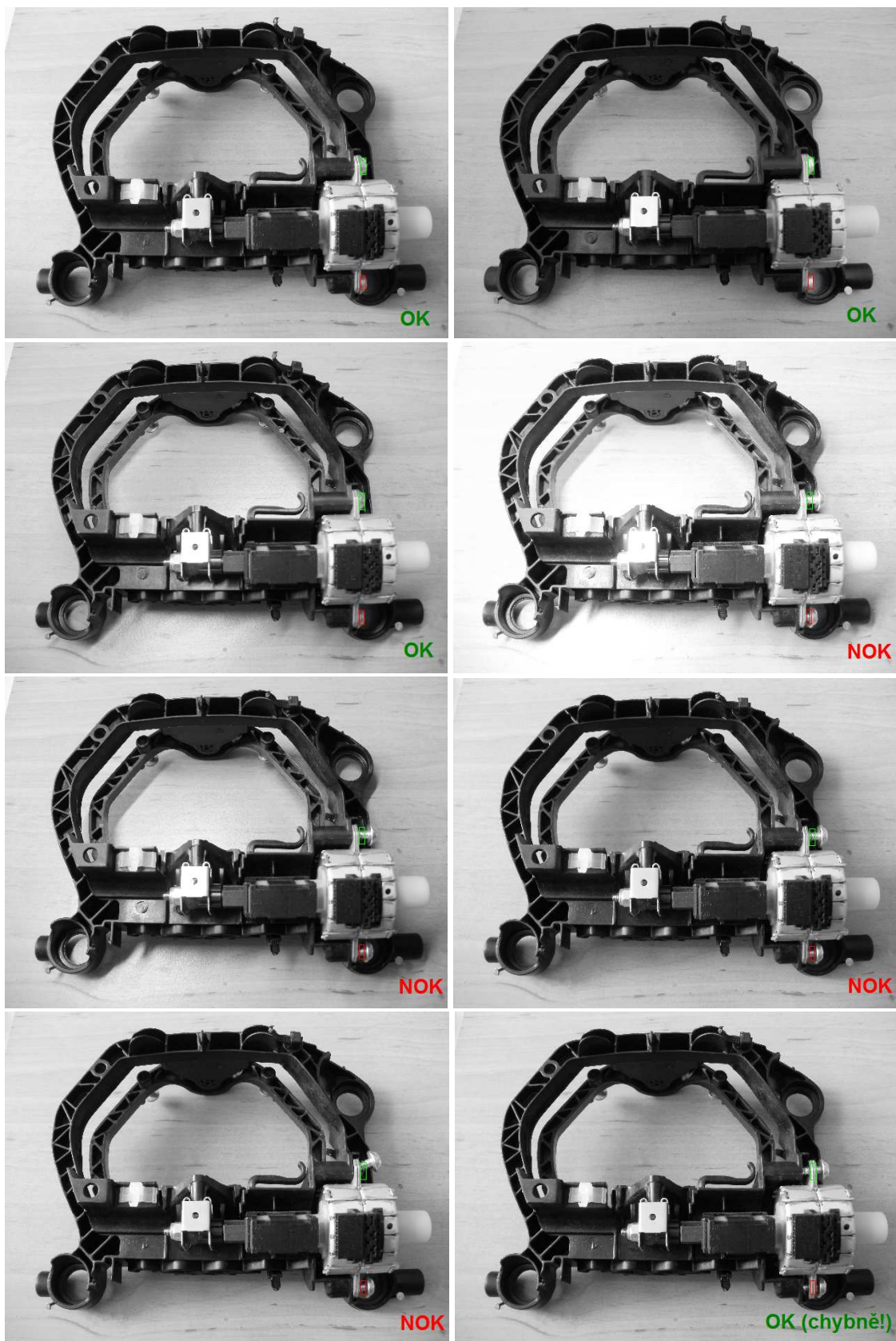
Dalším předmětem testování bylo ověřit funkčnost automatické lokalizace a rozmístění oblastí zájmu. Proto je rám na posledních dvou snímcích posunutý mimo oblast zakládání. Při posunu rámu o 3 cm do boku byla lokalizace provedena správně, oblasti zájmu se posunuly a vyhodnocení bylo také správné. Problém nastal, když byl rám posunut navíc ještě o 3 cm nahoru. Lokalizace sice proběhla správně, posun oblastí zájmu také, ale vlivem geometrického zkreslení nebyly oblasti zájmu přesně na hlavičkách kontrolovaných šroubů. Vyhodnocení tak bylo neúspěšné. Ke zkreslení došlo, protože byl snímáný předmět vysunut příliš mimo půdorys snímacího zařízení.

Stejný test se stejnými snímky jako v předchozím případě se systémem od firmy SICK byl proveden i s vlastním systémem, který byl vytvořen v této práci. Okno programu po spuštění testu je na Obr. 45. Definovány jsou dvě oblasti zájmu v prostoru hlaviček šroubů.

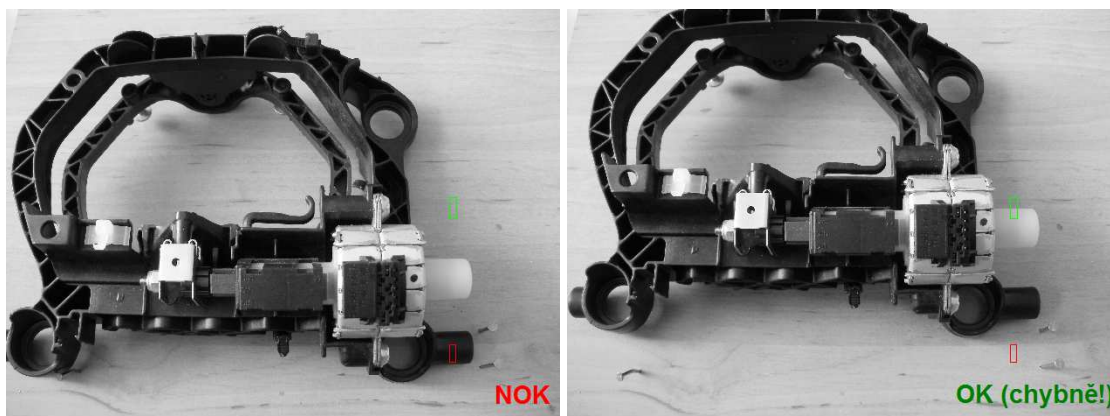


Obr. 45 - Hlavní okno vlastního systému realizovaného v této práci

Systém není schopen používat automatickou lokalizaci oblastí zájmu, a proto systém nevyhověl v případech, kdy byl rám na snímku posunutý. Na ostatních snímcích systém správně rozpoznával, zda je šroub správně dotažen, či nikoliv. Až na jeden snímek, na kterém je konzola motoru povolena natolik, že se dostala do prostoru definovaných oblastí zájmu. Pak byla tato konzola detekována jako hlavičky šroubu, protože mají podobné hodnoty jasu. Této chybě však lze předejít vytvořením dalších dvou oblastí zájmu, hned vedle, napravo od těch stávajících. Tím lze vyloučit, zda šroub povolený.



Obr. 46 - Vyhodnocené snímky vlastním systémem realizovaným v této práci



Obr. 47 - Vyhodnocené snímky vlastním systémem realizovaným v této práci

Práce ve srovnávaných systémech je velice podobná. Mezi nevýhody mého systému patří nedostupnost automatické lokalizace, funkce pro vyhodnocení kontrolovaných parametrů na principu srovnání se vzorem a obrysem. Dále nejsou v mém systému dostupné takové možnosti tvarů oblastí zájmu. Lze však vypíchnout dvě výhody mého systému oproti komerčnímu systému firmy SICK.

Můj systém obsahuje možnost použít náhled při nastavování vyhodnocovací funkce počet pixelů o určitém jasu v oblasti zájmu. Tento náhled je velice důležitý k nastavení správného rozmezí jasových hodnot. Navíc náhled se zobrazuje na celém referenčním snímku, nikoliv jen na oblasti zájmu. Tím lze dobře předvídat i posun hranic (prahovaných) segmentovaných oblastí vlivem celkového posunu světlosti snímku, a tím předejít tomu, aby při změně světlosti snímku došlo i ke změně výstupní hodnoty funkce aplikované v dané oblasti zájmu.

5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Předchozí kapitola 4.5 se zabývala zkoušením vytvořeného systému a porovnáním s komerčním systémem. Získaná data lze použít k přibližnému porovnání přesností a možnosti použití v reálných aplikacích. Výsledky zkoušených systémů jsou shrnuty v Tab. 5.

klasifikace	Vlastní systém	Systém SICK	Poznámka
snímek 1	správně	správně	
snímek 2	správně	správně	
snímek 3	správně	správně	
snímek 4	správně	správně	<i>přesvětlený snímek</i>
snímek 5	správně	správně	
snímek 6	správně	správně	
snímek 7	správně	správně	
snímek 8	nesprávně	správně	<i>posun motoru (LWR)</i>
snímek 9	nesprávně	správně	<i>posun doboku</i>
snímek 10	nesprávně	nesprávně	<i>posun doboku, nahoru</i>
úspěšnost:	70%	90%	

Tab. 5 - Srovnání vlastního a komerčního systému pro kontrolu průmyslové montáže

Z výsledků v tabulce vyplívá, že vytvořený systém není schopen reagovat na posuny snímané součástky, protože nemá funkci automatické lokace oblastí zájmu. Při aplikaci snímku 8 do systému SICK byl výsledek testu správný. Dopomohla k tomu sice automatická lokace, kterou má SICK implementovánu, ale dle mého názoru byl v případě 8. snímku kladný výsledek otázkou náhody. Navíc by bylo možné u vlastního systému vytvořit další oblasti zájmu tak, aby byl snímek 8 klasifikován správně. Potom by se úspěšnost klasifikace na uvedených 10 snímcích pohybovala kolem 80% u mého systému a 90 u komerčního systému.

Dle mého názoru je systém pro kontrolu průmyslové montáže, který jsem navrhnul a realizoval, schopný řešit základní detekční úlohy. Domnívám se, že má můj systém propracovanější způsob nastavení výstupu. Systém od firmy SICK je schopný nastavit logickou rovnici se dvěma operandy takovou, že operandy jsou výsledky vyhodnocení jednotlivých oblastí zájmu. To je stejné jako v mém systému. Můj systém však může výsledky logických rovnic použít v jiné rovnici jako operandy, avšak SICK nikoliv. Zde pak vzniká problém, jak vytvořit logickou funkci ze 4 operandů, mezi kterými má být vztah AND.

6 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá kamerovými senzory, které v praxi z mnoha aplikací vytlačují jednoduché bezkamerové snímače. Kamera umožňuje získávat měřené údaje bezkontaktně, nedestruktivním způsobem a jednou z jejich dalších nepostradatelných výhod je i schopnost kontrolovat více parametrů najednou.

V této práci jsem se seznámil s kamerovými senzory používanými při kontrole průmyslové montáže a zároveň i s obecnými problémy spojenými se snímáním pomocí kamery. Vybral jsem reálnou úlohu pro demonstraci nového detekčního systému v podobě kontroly přítomnosti a správnosti založení šroubů či jiných prvků na držáku xenonového modulu pro automobilové světlomety. Pořídil jsem dostatečně rozsáhlou databázi testovacích snímků. Pro některé ze snímků jsem vytvořil snímací přípravek, abych zajistil fixní polohu snímaného předmětu a mohl jej opětovně zakládat. Definoval jsem základní měřené parametry v oblasti zájmu jako jsou: počet pixelů o určitém jasu, počet hran o definovaných vlastnostech, shoda vzoru a shoda obrysu.

Navrhnul jsem a realizoval dva hlavní algoritmy pro kontrolu průmyslové montáže, které by v praxi pokryly převážnou většinu aplikací kamerových snímačů. K tvorbě algoritmů s počítačovým zpracováním obrazu jsem využil knihovny OpenCV, přičemž postup instalace a nastavení v Microsoft Visual Studiu jsem nastudoval a uvedl v této práci.

První algoritmus je počet pixelů o určitém jasu v oblasti zájmu, který je vhodné použít pro většinu testů přítomnosti dílů, které oproti pozadí vystupují výrazně jiným jasnem. Například světlý, pozinkovaný šroub na černém plastovém dílu světlometu. Metodou lze kontrolovat nejen přítomnost dílů, ale například i polohy zácvaků, šroubů apod. Tento algoritmus je jednoduchý, rychlý a pro převážnou většinu aplikací robustní. Avšak jeho funkčnost může být ohrožena výraznou změnou světelných podmínek při snímání průmyslové montáže. V těchto případech je důležité dobře navrhnout externí osvětlení a hardware snímání scény.

Druhým algoritmem je počet hran o definovaných vlastnostech v oblasti zájmu. Uživatel systému zde může definovat parametry Cannyho hranového detektoru, minimální délku, sklon a toleranci sklonu hrany. Tímto lze filtrovat počet hran a získat tak jen ty hrany, které jsou pro vyhodnocení dané oblasti zájmu důležité. Metoda je vhodná pro detekci a analýzu montážních značek, případně povrchových vad, např. prasklin, apod.

Navrhnul jsem uspořádání uživatelského rozhraní a jeho ovládacích prvků. Pro realizaci grafického prostředí jsem zvolil knihovnu Qt, která je vyvíjena firmou Nokia. Výhodou je, že je to multiplatformní open-source knihovna a díky dobře zpracované nápovědě se mi podařilo rychle si ji osvojit. Díky open-source statusu by bylo nasazení mého systému do praxe jednodušší. Její postup instalace a nastavení je taktéž uveden v této práci.

Vytvořil jsem dvě matice a navrhnul jejich vnitřní uspořádání tak, aby do nich systém mohl ukládat souřadnice vytvořených oblastí zájmu, parametry funkcí pro

vyhodnocení kontrolovaných parametrů a logické funkce pro nastavení výstupní hodnoty souhrnného testu. Tyto dvě matice lze také vygenerovat do uživatelem zadaných XML souborů, a pak je při opětovném spuštění aplikace znovu načíst.

Dále jsem se blíže seznámil s uživatelským rozhraním od firmy SICK, které slouží k nastavení kamerových senzorů z jejich sortimentu. Porovnal jsem práci s tímto a svým systémem. Lze konstatovat, že funkce, které jsem realizoval ve svém systému jsou funkčností srovnatelné se systémem od firmy SICK, ba dokonce nastavení výstupní logické funkce má dle mého názoru můj systém propracovanější.

Můj systém však postrádá další funkce pro vyhodnocení oblasti zájmu, jako je shoda se vzorem nebo obrysem a dále automatickou lokalizaci oblastí zájmu dle určitého vzoru ve snímku. Pro doplnění systému o automatickou lokalizaci i shodu se vzorem, by však bylo zapotřebí více času než mi umožňovalo magisterské studium. Dále by pro další pokračování bylo vhodné systém nasadit do praxe a sledovat podněty ke zlepšení. Dalším postupem by také měla být implementace mého software do hardware tak, aby vznikl kompaktní kamerový senzor s binárním výstupem, které by bylo možné nasadit do praxe. Dle použitého hardware by také bylo zapotřebí optimalizovat software jednotlivých detekčních algoritmů.

7 LITERATURA

- [1] ŠONKA, M., HLAVÁČ, V. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3.
- [2] ŽÁRA, J.; BENEŠ, B.; FELKEL, P. *Moderní počítačová grafika*. Brno: Computer press, 1998. ISBN 80-7226-049-9.
- [3] HLAVÁČ, V., SEDLÁČEK, M. *Zpracování signálů a obrazů*, skriptum ČVUT 2001.
- [4] BRADSKI, Gary; KAEHLER, Adrian. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, O'REILLY, 2008. ISBN 978-0-596-51613-0
- [5] SEDLÁŘ, M. *Systém pro rozpoznávání 2D čárových kódů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Petyovský.
- [6] *Vision sensor BVS*. Praha: Balluff. Firemní literatura. Cit. 24.4.2011. Dostupné také z WWW: <http://www.balluff.com/Balluff/de/ProductsChannel/Overview/en-gb/Vision+Sensors.htm>
- [7] *Inspector I10,I20,I40*. Germany: SICK, 2010. Firemní literatura. Cit. 24.4.2011. Dostupné také z WWW: <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=DataSheet&Cat=Gus&At=Fa&Cult=English&ProductID=36958&Category=Produktfinder>
- [8] *Inspector P30*. Germany: SICK, 2010. Firemní literatura. Cit. 24.4.2011. Dostupné také z WWW: <https://www.mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0037861>
- [9] *VeriSens*. Brno: Baumer, 2011. Firemní literatura. Cit. 24.4.2011. Dostupné také z WWW: <http://www.baumer.com/sensor/vision-sensors/verisens-series/en.html>
- [10] *iVu series*. Hradec Králové: Turck, 2011. Firemní literatura. Cit. 24.4.2011. Dostupné také z WWW: <http://www.turck.cz/689.htm>
- [11] *Kamerový senzor FQ*. Praha: OMRON, 2011. Firemní literatura. Cit. 24.4.2011. Dostupné také z WWW: http://www.ia.omron.com/product/family/2956/index_fea.html
- [12] *OpenCV: OpenCV* [online]. Cit. 24.4.2011. Dostupné z WWW: <http://opencv.willowgarage.com/wiki>
- [13] *Qt: Qt-Nokia* [online]. Cit. 14.3.2012. Dostupné z WWW: <http://qt.nokia.com/>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- GUI - (Graphical User Interface) - uživatelské rozhraní
- ROI - (Region Of Interest) - oblast zájmu
- OK - test proběhl úspěšně
- NOK - test neproběhl úspěšně

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - CD s elektronickou verzí této práce a zdrojovým kódem.